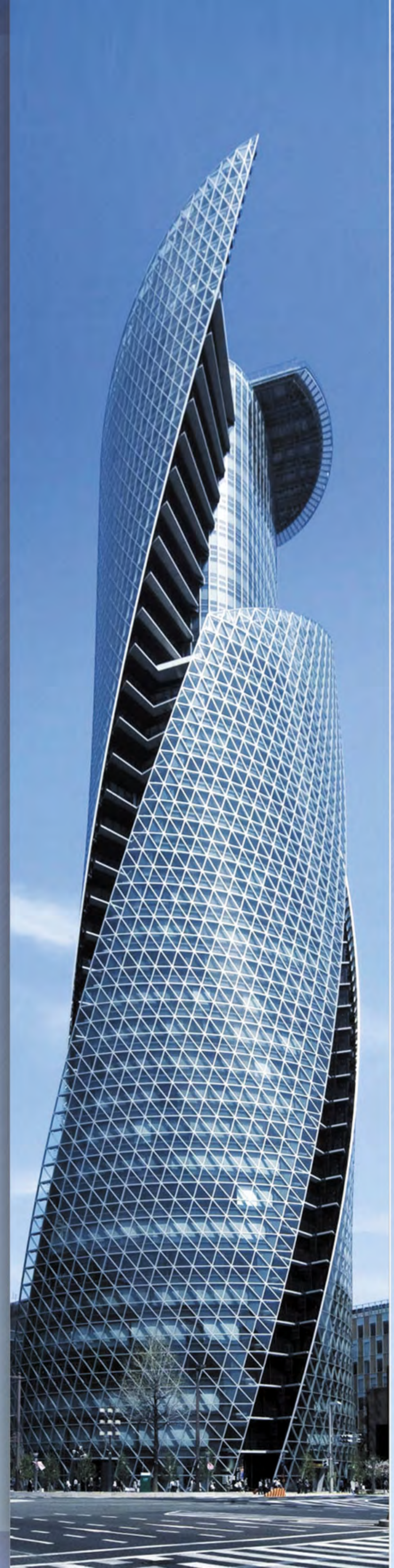
تصميم المنشآت الفولاذية

الدكتور المهندس محمد أحمد السمارة



تصميم المنشآت الفولاذية

د.م محمد أحمد السمارة

نبذة عن المؤلف

بكالوريوس في الهندسة المدنية من جامعة دمشق

ماجستير في تصميم المنشآت الفولاذية من جامعة لندن

دبلوم عضوية في الكلية الامبراطورية البريطانية

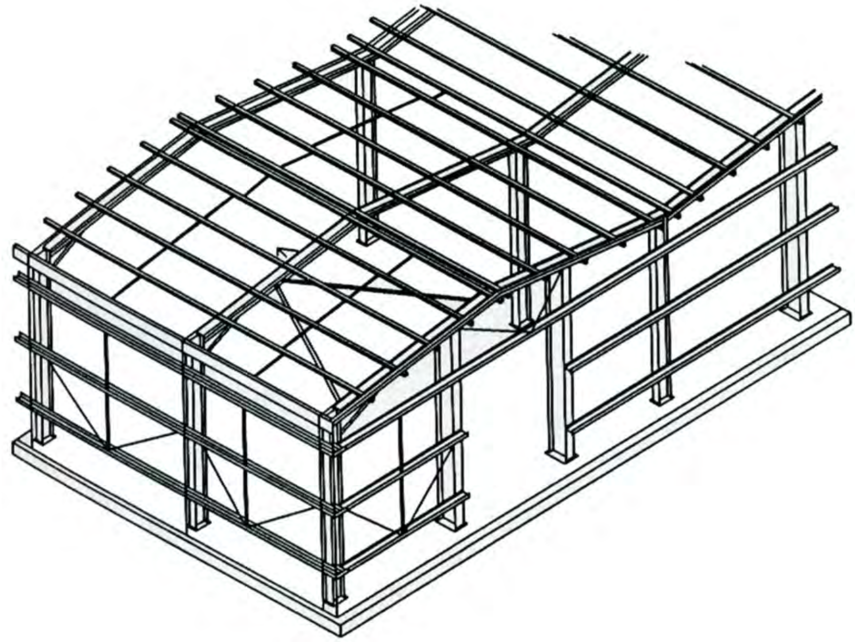
دكتوراه في ديناميك المنشآت من جامعة لندن

مدير بحوث في مركز الدراسات و البحوث العلمية بدمشق

أستاذ في كلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق



تصميم المنشآت الفولاذية



الدكتور المهندس محمد أحمد السمارة

الطبعة الثالثة 1438 هـ - 2016 م

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمـة

لقد مضى مائة عام تقريباً على استخدام الفولاذ لأول مرة في إشادة الأبنية والجسور. ومنذ ذلك الوقت حتى اليوم ثبتت إمكانية استخدام الفولاذ في كافة أنواع الجمل الإنشائية. وكان ذلك نتيجة لعدة عوامل منها:

* التقدم الهائل في تكنولوجيا صناعة الفولاذ حيث توفرت أصناف كثيرة من الفولاذ الإنشائي في الأسواق العالمية وكان على رأسها الفولاذ عالي المقاومة الذي أثبت جدوى اقتصادية متميزة. وكذلك الفولاذ المقاوم للظروف المناخية حيث أصبح من الممكن ترك المنشأ غير مطلي بالدهان طيلة حياته. أما المنتجات الفولاذية الرقيقة فيمكن طلاؤها بطبقة جذابة مقاومة للظروف الجوية كتلك المستعملة في طبقات التغطية.
* تطور طرائق تصنيع الجمل والعناصر الإنشائية حيث أصبح تصنيع الهياكل الإنشائية عملية إنتاجية متكاملة تُنجَز كافة مراحلها على خط إنتاج يبدأ في المواد الأولية وينتهي بالعناصر الإنشائية جاهزة للتجميع والتركيب وتميزت خطوات هذه العملية بالدقة العالية في القص والتشكيل والتثقيب واللحام ..... وذلك نتيجة استخدام آلات وأدوات يتم التحكم فيها رقمياً.
* التطور الكبير الذي حدث في معالجة السطوح ضد الصدأ حيث تم استخدام المعامل الآلية لطلاء العناصر بالمواد المختلفة وشويها.
* الفهم الأعمق للتصرف الإنشائي الذي مكّن المصممين من تقديم منشآت أكثر اقتصادية في استخدام الفولاذ دون المساس بمستوى الأمان المطلوب وبالتالي أصبح التصميم أكثر دقة.

لقد اعتمد الكتاب بشكل رئيسي على الكود البريطاني 5950-1:2000 الخاص بتصميم المنشآت الفولاذية وبناءً على ذلك يمكن تقسيم الكتاب إلى المحاور الرئيسية التالية:

* مفاهيم عامة وأساسيات في التصميم: الفصل الأول والثاني
* تصميم العناصر: من الفصل الثالث وحتى الفصل التاسع.
* تصميم الوصلات : الفصل العاشر.
* تصميم الهياكل الفولاذية : من الفصل الحادي عشر وحتى الخامس عشر.
* تصميم قواعد الأعمدة: الفصل السادس عشر.
* تصميم الإطار البابي: الفصل السابع عشر.

تم وضع عدد من المسائل المحلولة في نهاية كل فصل لتساعد القارئ على استيعاب الأفكار النظرية كما تم إضافة ملحق في نهاية الكتاب يحتوي على جداول لخصائص المقاطع الفولاذية وفقاً للمواصفات البريطانية.

أخيراً أرجو الله أن أكون قد وفقت في إعداد هذا الكتاب ليكون مفيداً لزملائي المهندسين وأخوتي الطلبة وأن يضيف لبنة في صرح المكتبة العربية.

دمشق ربيع الأول 1438 هـ / كانون الأول 2016 م

المؤلف

د.م محمد أحمد السمارة

الفصل الأول

مفهوم التصميم وفق الحالات الحدية
Limit State Design

مبادئ عامة

عند تصميم المنشآت يجب الأخذ بالحسبان الحالات الحدية التي تصبح عندها غير مناسبة للأهداف التي صممت من أجلها, ولتجنب الوصول إلى ذلك يجب تطبيق عوامل أمان مناسبة للحالات الحدية القصوى والحالات الحدية لمرحلة الاستثمار. ويبين الجدول (1-1) الحالات الحدية للمنشآت الفولاذية:

الجدول (1-1)

الحالات الحدية القصوى	الحالات الحدية لمرحلة الاستثمار
1- المقاومة: شاملة الوصول إلى مرحلة السيلان أو التمزق أو التحنيب أو التحول إلى ميكنزم	5- السهوم
2- الاستقرار على الانقلاب والانتقالات الجانبية	6- الاهتزاز، مثل الاهتزاز الناجم عن الرياح
3- التشقق نتيجة التعب	7- إمكانية إصلاح الأضرار الناجمة عن التعب
4- التمزق الهش	8- الديمومة

1–1 الحالات الحدية القصوى Ulimate limit states

1–1–1 حالة حد المقاومة Limit state of strength

عند تدقيق المقاومة والاستقرار لأي منشأ، يجب ضرب الأحمال بمعاملات التصعيد γ_f المحددة في الجدول (2-1) وأخذ حالات تراكب الأحمال الأسوأ لجزء المنشأ أو الفعل قيد الدراسة، بحيث لا يسبب الحمل المصعد بالمعامل المناسب انهيار العنصر أو وصلاته.

الجدول (2-1): معاملات التصعيد وحالات تراكب الأحمال

الأحمـــال	عامل الأمـان γ_f
* الأحمال الميتة.	1.4
* الأحمال الميتة الممانعة لرفع المنشأ أو انقلابه	1.0
* الأحمال الميتة عند تراكبها مع الأحمال الحية وأحمال الرياح	1.2
* الأحمال الميتة عند تراكبها مع الأحمال الحية وأحمال الروافع	1.2
* الأحمال الحية عند تراكبها مع الأحمال الميتة فقط	1.6
* الأحمال الحية عند تراكبها مع الأحمال الميتة وأحمال الرياح	1.2
* الأحمال الحية عند تراكبها مع الأحمال الميتة وأحمال الروافع الشاقوليه	1.4
* الأحمال الحية عند تراكبها مع الأحمال الميتة وأحمال الروافع الأفقيه	1.2
* أحمال الرياح عند تراكبها مع الأحمال الميتة فقط	1.4
* أحمال الرياح عند تراكبها مع الأحمال الميتة والحية أو أحمال الروافع	1.2
* الأحمال الناجمة عن التأثيرات الحرارية	1.2
* أحمال الروافع:	
– الأحمال الشاقولية أو الأفقية.	1.6
– الأحمال الشاقولية والأفقية معاً.	1.4
– الأحمال الشاقولية والأفقية وأحمال الرياح معاً.	1.2

2–1–1 حالة حد الاستقرار Stability limit state

- يجب تصعيد الأحمال بالمعامل المناسب من الجدول (2-1) عند حساب استقرار أي منشأ أو جزء منه، ويجب على المصمم الأخذ بالحسبان الاستقرار الكلي الذي يشمل الاستقرار ضد الانقلاب والاستقرار الجانبي.
- يجب أن لا تسبب الأحمال المصعدة عندما تؤخذ منفردة أو متراكبة انقلاب أو رفع المنشأ أو جزء منه عن مسانده. ويجب أن تؤخذ بالحساب حالة تراكب الأحمال الميتة والحية والرياح التي تعطي الفعل الأسوأ على الاستقرار الشامل للمنشأ. ويجب أن يؤخذ بالحسبان أي تغيير محتمل للأحمال الميتة أثناء التنفيذ أو أثناء أي ظرف مؤقت.
- يجب أن تمتلك كل المنشآت بما فيها الأجزاء بين فواصل التمدد صلابة كافية ضد عدم الاستقرار الجانبي. ولضمان ذلك يجب تحقيق المنشأ على أحمال أفقية افتراضية على الرغم من كونه قد صمم على الأحمال الأفقية التصميمية. يمكن أن تنشأ هذه القوى الافتراضية من عيوب تنفيذية مثل فقدان الشاقولية وتؤخذ الأكبر مما يلي:

* 1 % من الأحمال الميتة المصعدة عند الطابق قيد الدراسة, وتطبق أفقياً.
* 0.5 % من الأحمال المصعدة الميتة والحية عند الطابق قيد الدراسة وتطبق أفقياً.

وتطبق هذه الأحمال التخيلية عند كل طابق في اتجاه واحد. متراكبة مع الأحمال المصعدة الميتة والحية الشاقولية ثم تعاد الكرة في افتجاه الآخر، ويجب أن لا تطبق هذه الأحمال في الحالات التالية:

* عند تحقيق انقلاب المنشأ.
* مع تراكب الأحمال الأفقية.
* مع تراكب التأثيرات الحرارية.

* عند حساب ردود أفعال المنشأ على الأساسات.

- ويمكن تأمين الاستقرار الجانبي باستخدام الإطارات المربطة أو باستخدام إطارات ذات عقد صلبة أو الاستفادة من بيت الدرج أو نواة المصعد ...... ومهما كانت الجملة التي ستستخدم لتأمين هذا الاستقرار لا بد من الأخذ بالحسبان حالة تغير اتجاه الحمل. ويجب أن تثبت التغطية المعدنية والأسقف بشكل جيد على الهيكل الإنشائي لتتمكن من نقل الأحمال الأفقية إلى العناصر المقاومة للانزياح الجانبي.

1-2 حالة حد السهوم Deflection

يجب أن لا تفسد السهوم الناجمة عن أحمال الاستثمار كفاءة المنشأ أو مقاومته أو مقاومة أي جزء منه وأن لا تسبب ضرراً لإنهاءات البناء. وعند تدقيق هذه السهوم يجب أن تؤخذ حالات التراكب والتوضع الأسوأ لأحمال الاستثمار. وعلى العموم أحمال الاستثمار هي الأحمال الحية المطبقة دون عوامل تصعيد. وعند الأخذ بالحسبان حالة تراكب الأحمال الحية وأحمال الرياح يؤخذ 80 % من الأحمال الحية وأحمال الرياح ولا تطبق أحمال الروافع والرياح معاً بل يؤخذ أكبرهما تأثيراً.

ويبين الجدول رقم (3-1) حدود السهوم المسموح بها لبعض العناصر الإنشائية:

الجدول (3-1): حدود السهوم للعناصر الإنشائية (عدا إطارات الأسقف المائلة)	
آ – سهوم الجوائز الناجمة عن الأحمال الحية غير المصعدة	
* الأظفار.	الطول / 180
* الجوائز الحاملة لطينة أو إنهاءات هشة.	المجاز / 360
* كل الجوائز الأخرى.	المجاز / 200
* الجوائز الثانوية وسكك الجدران.	يحدد السهم بما يناسب مواصفات التغطية
ب – سهم الأعمدة الأفقي الناتج عن الأحمال الحية وأحمال الرياح (عدا أعمدة الإطارات)	
* أعلى أعمدة المنشآت ذات الطابق الواحد	الارتفاع / 300
* في كل طابق من بناء متعدد الطوابق	ارتفاع الطابق / 300
ج – الجوائز الحاملة للروافع	
* السهم الشاقولي الناتج عن أحمال الدواليب الساكنة.	المجاز / 600
* السهم الأفقي الناتج عن الفرملة محسوباً وفقاً لمواصفات الجناح العلوي فقط.	المجاز / 500

الفصل الثاني

خواص المواد وخصائص المقاطع

Properties of Materials and Section Properties

2-1 مواصفات الفولاذ Properties of steel

تؤخذ المقاومة التصميمية للفولاذ p_y مساوية لإجهاد خضوع (سيلان) الفولاذ Y_s على أن لا تزيد على $U_s/1.2$ حيث U_s هي مقاومة الشد القصوى. وتؤخذ p_y من الجدول (2-1) لأغلب أنواع الفولاذ.

الجــدول (2-1) المقاومة التصميمية للمقاطع المدرفلة وللصفائح وللمقاطع المفرغة

ماركة الفولاذ	السماكة أقل أو تساوي mm	$p_y N/mm^2$
S275	16	275
	40	265
	63	255
	80	245
	100	235
	150	225
S355	16	355
	40	345
	63	335
	80	325
	100	315
	150	295
S460	16	460
	40	440
	63	430
	80	410
	100	400

كما تحدد الخصائص المرنة للفولاذ كما يلي:

معامل المرونة $E = 205\ kN/mm^2$

معامل بواسون $\nu = 0.3$

معامل التمدد الحراري $\alpha = 12x10^{-6}\ per\ C^{\circ}$

2-2 خصائص المقاطع Section properties

2-2-1 المساحة الصافية Net area

تؤخذ المساحة الصافية لأي مقطع أو جزء منه مساوية المساحة الكلية مطروحاً منها المساحة المفرغة لعناصر الربط. وتحسب المساحة المفرغة كمجموع مساحة مقاطع الثقوب في أي مقطع عرضي متعامد مع اتجاه الإجهادات في العنصر. وعندما تكون الثقوب متناوبة كما في الشكل (2-1) تؤخذ المساحة المفرغة الأكبر مما يلي:

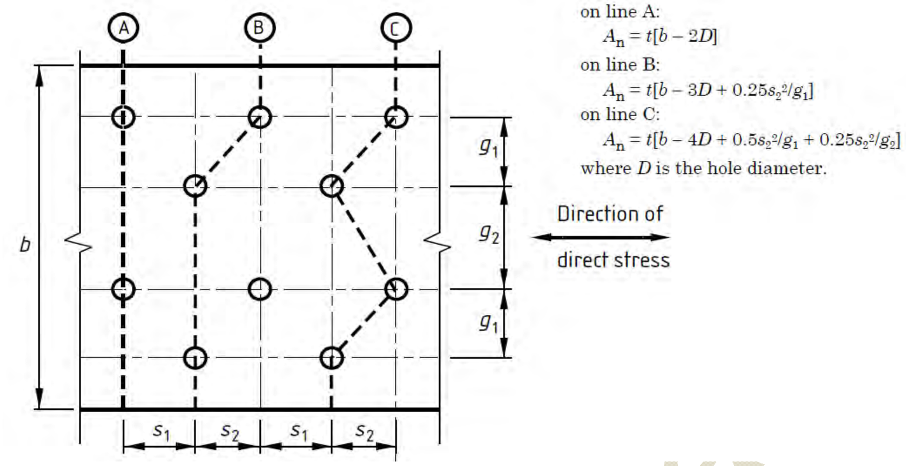
* مساحة التفريغ دون حسبان التناوب

* مجموع مساحات مقاطع الثقوب الواقعة على خط متعرج (زكزاك) يقطع العنصر مطروحاً منها $s^2 t/4g$ من أجل كل فراغ بين صفين من الثقوب حيث:

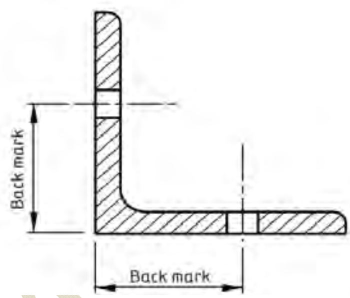
s خطوة التناوب وهي المسافة بين مركزي ثقبين متتاليين في صفين متتاليين من الثقوب مقيسه بشكل موازي للإجهادات في العنصر. انظر الشكل (2-1)

t سماكة العنصر عند الثقب

g المسافة بين مركزي صفين متتاليين من الثقوب، وتقاس بشكل متعامد مع الإجهادات في العنصر ومن أجل المقاطع على شكل زاوية والتي تحتوي على صفين من الثقوب فتؤخذ المسافة g كمجموع المسافتين من مركزي الثقبين إلى رأس الزاوية . انظر الشكل (2-2) .



الشكل (2-1) ثقوب متناوبة



الشكل (2-2) ثقوب في كلا ساقي الزاوية

2-2-2 المساحة الفعّالة عند الوصلات Effective area at connection

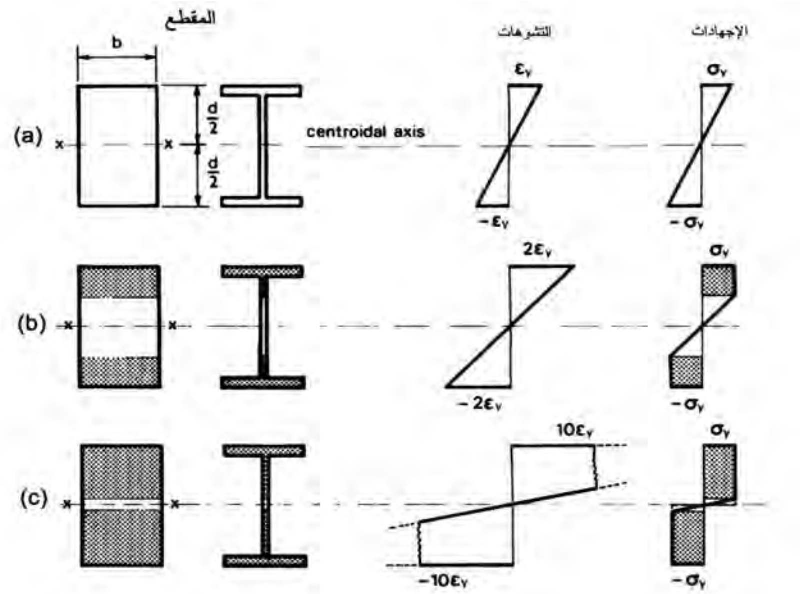
تؤخذ المساحة الفعّالة للعناصر عند الوصلات حيث يوجد ثقوب الروابط مساوية للمساحة الصافية مضروبة بـ K_e على أن لا تزيد عن المساحة الكلية للعنصر. حيث:

$K_e = 1.2$	للفولاذ S275
$K_e = 1.1$	للفولاذ S355
$K_e = 1.0$	للفولاذ S460
$K_e = \dfrac{U_s}{1.2p_y}$	لأنواع الفولاذ الأخرى.

2−3 تصنيف المقاطع العرضية Classification of cross sections

2−3−1 أسس التصنيف Classification bases

يبين الشكل (2−3a) توزّع التشوهات والإجهادات الطولية في مقطع متناظر تحت تأثير عزم انعطاف في مرحلة تبلغ التشوهات في الليف الأبعد التشوهات المرنة العظمى ε_y والاجهادات حد السيلان σ_y. فإذا تم زيادة العزم المطبّق إلى أن تصل التشوهات في الليف الأبعد إلى $2\varepsilon_y$ كما في الشكل (2−3b) فإن ارتفاع المنطقة اللدونة سيزداد من الليف الأبعد باتجاه المحور المحايد مع تزايد العزم لأن الإجهادات لايمكن أن تتجاوز σ_y. وإذا استمرت زيادة العزم المطبّق إلى أن تصل التشوهات في الليف الأبعد إلى $10\varepsilon_y$ (مثلاً) فإن كامل المقطع تقريباً سيصبح لدناً كما في الشكل (2−3c). عندما يصبح كامل المقطع العرضي لدناً فإن أية محاولة لزيادة العزم المطبّق ستجعل المقطع يتصرف وكأنه مفصل وسيحصل فيه دورانات كبيرة دون تغيّر ملحوظ في العزم المقاوم، تسمى هذه الظاهرة بالمفصل اللدن. ولكن على عكس المفصل الحقيقي فإن الدورانات تقاوم بعزم ثابت القدر يسمى بالعزم اللدن.



الشكل (2−3)

يبين الشكلان (2-4,5) مقطعين فولاذيين حدث فيهما تشوهات كبيرة بعد أن تم اختبار الأول كعمود و الثاني كجائز حيث حنب جناحيهما خارجين عن شكلهما المستوي الأصلي دون حصول تشوهات تذكر على جسد المقطع. أي أن التحنيب كان محصوراً بعناصر صفائحية محددة من المقطع العرضي ولم يحدث تشوهاً للمقطع بكامله. أي ظهر التحنيب الموضعي في الجناح دون الجسد لأن الجناح كان نحيفاً.



الشكل (2-4) تحنيب موضعي في جناح العمود

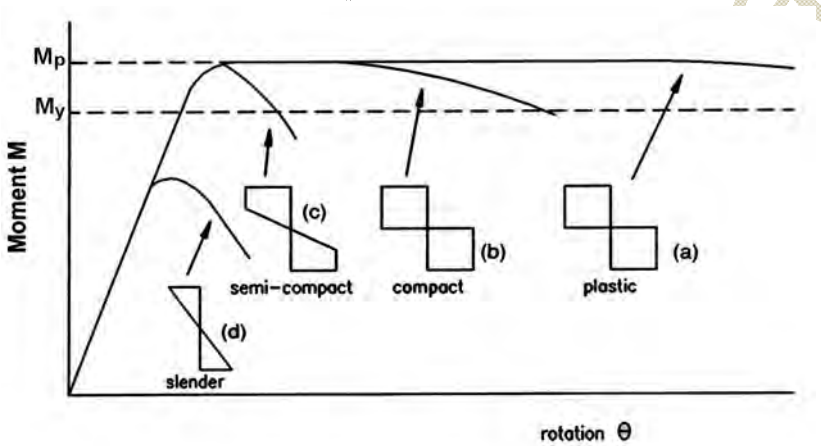


الشكل (2−5) تحنيب موضعي في جناح الجائز

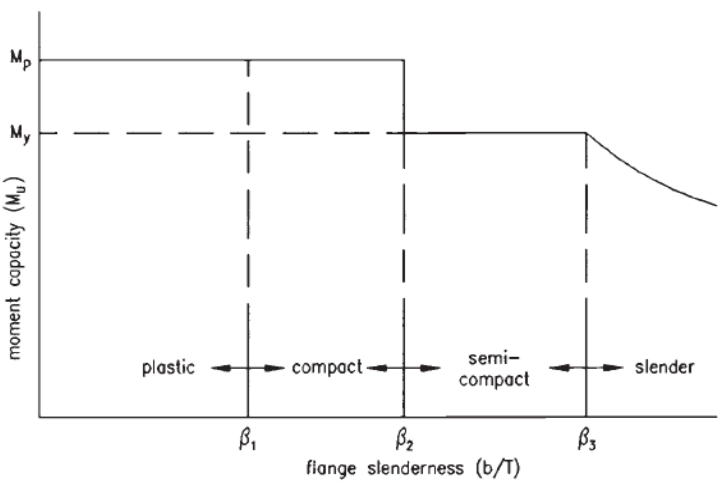
يمكن تجنب التحنيب الموضعي لعنصر من المقطع العرضي نتيجة الضغط المتولد عن عزم أو قوة محورية وذلك بتحديد نسبة عرضه إلى سماكته (b/T) وعليه تصنف المقاطع وفقاً لهذه النسبة إلى مقاطع لدنة أو مدمجة أو نصف مدمجة أو نحيفة.

- المقاطع اللدنة Plastic: هي المقاطع التي تسمح بتشكل مفصل لدن فيها دون أن تتعرض لتحنيب موضعي مع حصول دوران كافٍ يؤدي إلى إعادة توزيع العزوم في المنشأ. أي أن تحمل المقطع سيصل إلى العزم اللدن M_p ويثبت عنده فتنتج دورانات كبيرة كما هو مبين في الشكل (2−6a) ويبين الجدولين (2−2,3) النسبة $\beta_1 = b/T$ التي يجب أن تحققها عناصر المقاطع اللدنة وفقاً للكود BS 5950− 2000 ويجب الانتباه إلى أن هذا النوع من المقاطع يستخدم في التصميم اللدن دون المقاطع الأخرى.
- المقاطع المدمجة Compact: هي المقاطع التي يصل تحملها إلى العزم اللدن M_p ولكن دون السماح بحصول دورانات كبيرة كما هو موضح في الشكل (2−6a)، أي أنها تتحمل كامل العزم اللدن ولكن حدوث تحنيب موضعي يمنع تطور مفصل لدن بطاقة دوران كافية تسمح باعتمادها في التصميم اللدن. ولهذا تستخدم هذه المقاطع دون قيود عدا استخدامها في التصميم اللدن. ويحدد الكود النسبة $\beta_2 = b/T$ التي يجب أن تحققها عناصر هذه المقاطع كما ورد في الجدولين (2−2,3).
- المقاطع نصف المدمجة Semi – Compact: تصل طاقة تحمل المقطع إلى العزم المرن M_y حيث تصل الإجهادات في الألياف القصوى إلى إجهادات السيلان. ولكن التحنيب الموضعي يمنع الوصول إلى العزم اللدن، انظر الشكلين (2−6a,b). وعليه فإن هذا النوع من المقاطع يستخدم في حالة التصميم المرن، ويبين الجدولان (2−2,3) النسبة $\beta_3 = b/T$ لهذا النوع من المقاطع.

- المقاطع النحيفة Slender: هي المقاطع التي تحتوي على عناصر نحيفة خاضعة إلى ضغط ناجم عن عزم أو قوة محورية بحيث يمنع التحنيب الموضعي هذه المقاطع من الوصول إلى طاقة تحملها المرنة M_y، وتعد المقاطع نحيفة إذا لم تحقق شروط المقاطع نصف المدمجة المذكورة في الجدولين (2-2,3). عند استخدام هذه المقاطع يتم تخفيض مساحتها وحساب مساحة فعّالة ومعاملي مقطع مرن ولدن للمساحة الفعّالة كما سيرد لاحقا في هذا الفصل.



الشكل (2-6a) تصرف الانعطاف لأنواع المقاطع المختلفة



الشكل (2-6b) طاقة تحمل العزم بدلالة نسبة نحافة الجناح

2-3-2 نسبة الإجهادات المعتمدة في التصنيف

تحدد نسب الإجهادات r_1 و r_2 المستخدمة في الجدولين 2-2 و 2-3 كمايلي:

- من أجل مقاطع H و I ذات الأجنحة المتساوية:

$$r_1 = \frac{F_c}{dtp_{yw}} \quad \text{but } -1 < r_1 \le 1$$

$$r_2 = \frac{F_c}{A_g p_{yw}}$$

- من أجل مقاطع H و I ذات الأجنحة غير المتساوية:

$$r_1 = \frac{F_c}{dtp_{yw}} + \frac{(B_t T_t - B_c T_c) p_{yf}}{dtp_{yw}} \quad \text{but } -1 < r_1 \le 1$$

$$r_2 = \frac{f_1 + f_2}{2p_{yw}}$$

- من أجل المقاطع المستطيلة المفرغة المدرفلة أو المقاطع الصندوقية المشكلة باللحام ذات الأجنحة المتساوية:

$$r_1 = \frac{F_c}{2dtp_{yw}} \quad \text{but } -1 < r_1 \le 1$$

$$r_2 = \frac{F_c}{A_g p_{yw}}$$

A_g: المساحة الكلية للمقطع.

B_t , B_c: عرض الجناح المضغوط وعرض الجناح المشدود. d, t: سماكة وارتفاع الجسد على الترتيب (الشكل 2-7) .

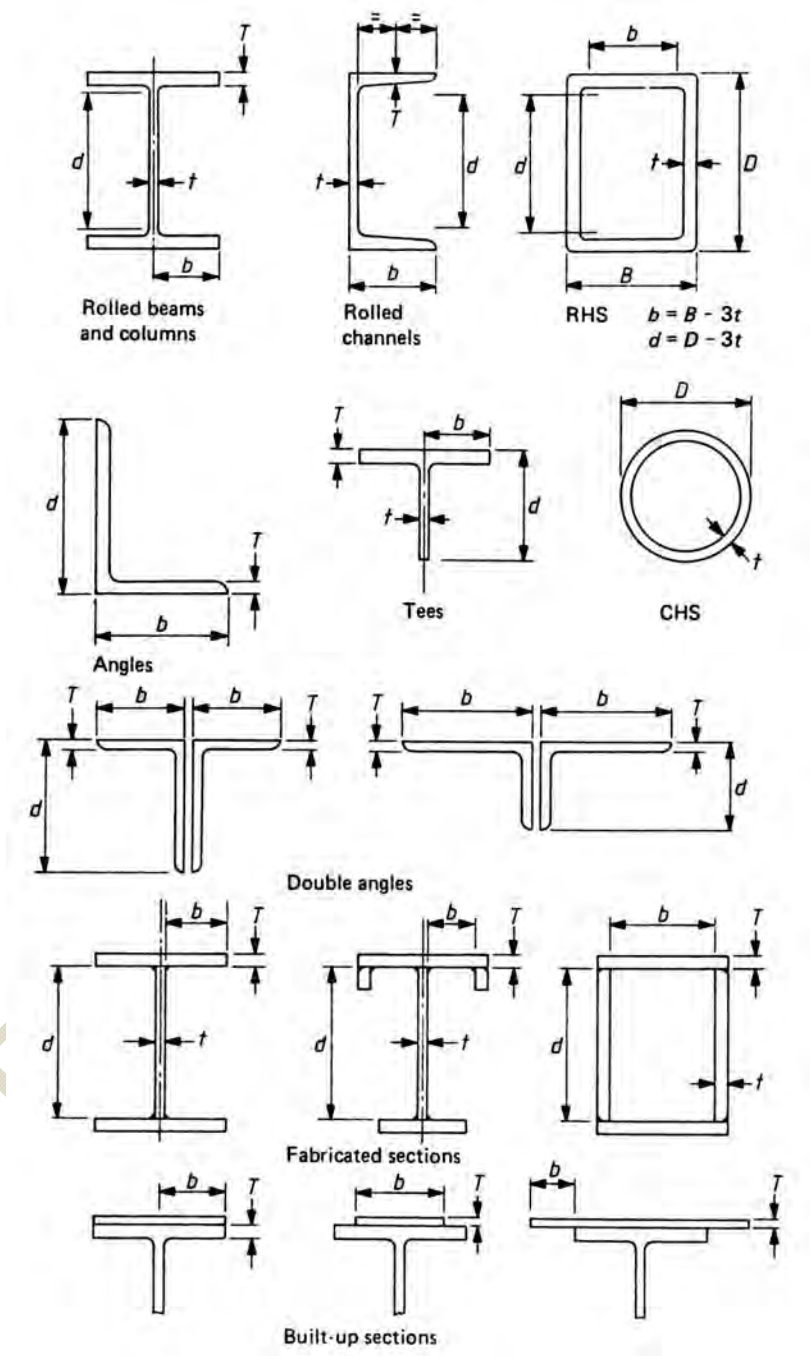
F_c: القوة المحورية (سالبة في حالة الشد).

f_1: إجهاد الضغط الأعظمي في الجسد (الشكل 2-8).

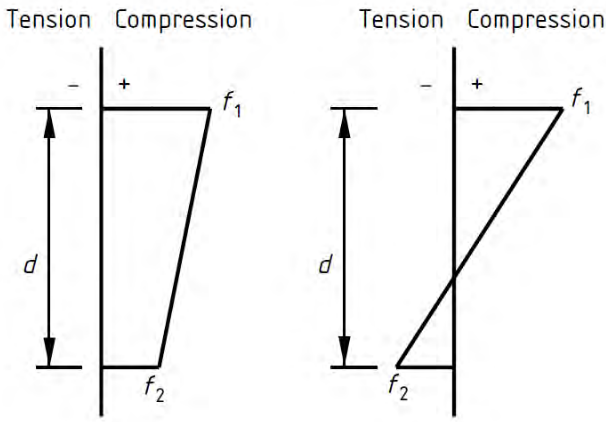
f_2: إجهاد الضغط الأصغري في الجسد يؤخذ سالب في حالة الشد (الشكل 2-8).

p_{yw} , p_{yf}: المقاومة التصميمية للأجنحة و للجسد (بشرط $p_{yf} \ge p_{yw}$) على الترتيب.

T_t , T_c : سماكة الجناحين المضغوط و المشدود على الترتيب.



الشكل (2–7) أبعاد المقاطع



الشكل (2-8) نسبة الإجهادات لجسد نصف مدمج

2-4 معامل المقطع اللدن الفعّال Effective plastic modulus

يجب أن تصمم المقاطع نصف المدمجة والخاضعة للانعطاف إما باستخدام معامل المقطع المرن Z أو باستخدام معامل المقطع اللدن الفعّال S_{eff} والذي يحدد للمقاطع I , H والمقاطع المستطيلة والدائرية المفرغة كما يلي (من أجل بقية أشكال المقاطع يؤخذ مساويا لمعامل المقطع المرن):

1) المقاطع H , I المتساوية الأجنحة:

$$S_{x,eff} = Z_x + (S_x - Z_x)\left[\frac{\left(\frac{\beta_{3w}}{d/t}\right)^2 - 1}{\left(\frac{\beta_{3w}}{\beta_{2w}}\right)^2 - 1}\right] \quad \text{but} \quad S_{x,eff} \le Z_x + (S_x - Z_x)\left[\frac{\frac{\beta_{3f}}{b/T} - 1}{\frac{\beta_{3f}}{\beta_{2f}} - 1}\right]$$

$$S_{y,eff} = Z_y + (S_y - Z_y)\left[\frac{\frac{\beta_{3f}}{b/T} - 1}{\frac{\beta_{3f}}{\beta_{2f}} - 1}\right]$$

2) المقاطع المستطيلة المفرغة:

$$S_{\text{eff}} = Z + (S - Z)\left[\frac{\dfrac{\beta_{3\text{w}}}{d/t} - 1}{\dfrac{\beta_{3\text{w}}}{\beta_{2\text{w}}} - 1}\right] \quad \text{but} \quad S_{\text{eff}} \le Z + (S - Z)\left[\frac{\dfrac{\beta_{3\text{f}}}{b/t} - 1}{\dfrac{\beta_{3\text{f}}}{\beta_{2\text{f}}} - 1}\right]$$

3) المقاطع الدائرية المفرغة:

$$S_{\text{eff}} = Z + 1.485\left[\left[\left(\frac{140}{D/t}\right)\left(\frac{275}{p_{\text{y}}}\right)\right]^{0.5} - 1\right](S - Z)$$

حيث:

b_{2f}: القيمة الحدية للنسبة b/T تحدد من الجدول 2−2 أو 3−2 للجناح مدمج

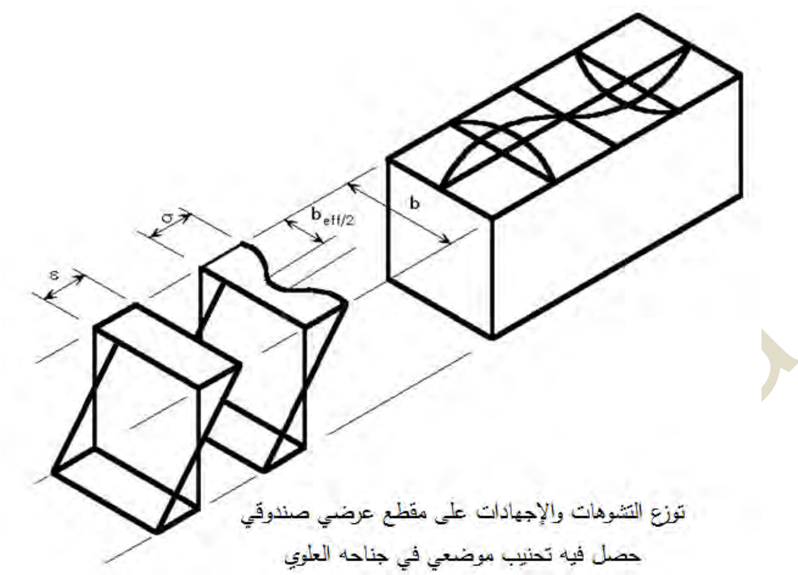
b_{2w}: القيمة الحدية للنسبة d/T تحدد من الجدول 2−2 أو 3−2 للجسد مدمج

b_{3f}: القيمة الحدية للنسبة b/T تحدد من الجدول 2−2 أو 3−2 للجناح نصف المدمج

b_{3w}: القيمة الحدية للنسبة d/T تحدد من الجدول 2−2 أو 3−2 للجناح نصف المدمج

2−5 المقاطع النحيفة Slender sections

كما بينا سابقاً يمنع التحنيب الموضعي المقاطع التي تحتوي على عناصر نحيفة خاضعة إلى ضغط ناجم عن عزم أو قوة محورية من الوصول إلى طاقة تحملها المرنة M_y المحسوبة بناءً على وصول الليف الأقصى من المقطع العرضي إلى إجهاد الخضوع. والسبب في ذلك أن حدوث التحنيب الموضعي في العناصر النحيفة في مرحلة مبكرة يخفض قساوة هذه العناصر مما يعيد توزيع الإجهادات إلى الأطراف الأقسى فيصبح توزع الإجهادات لاخطياً كما في الشكل (9−2). ويتم أخذ هذا التخفيض في مقاومة المقطع بالحسبان باعتبار توزع الإجهادات خطياً على عرض فعّال مخفض للعنصر النحيف وكأنه تم الغاء الجزء الذي يحدث فيه التحنيب الموضعي من المقطع العرضي وبذلك يتم الحصول على مقطع عرضي فعّال.



الشكل (2-9)

2-5-1 خصائص المقطع الفعّال Effective section properties

يؤخذ تأثير التحنيب الموضعي بالحسبان عند تصميم العناصر ذات المقاطع العرضية النحيفة من خلال اعتماد خصائص المقطع الفعّال.

في العناصر المجهدة بشكل رئيسي نتيجة الحمولات المحورية يجب أخذ التأثيرات المحتملة للتحنيب الموضعي بالحسبان على الحالة الاستثمارية للمقاطع العرضية المستطيلة المفرغة التي تحتوي عناصر داخلية أعرض من (70ε) من سماكتها أو التي تحتوي على عناصر داخلية أعرض ب (80ε) من سماكتها في بقية المقاطع.

2-5-2 المقاطع المتناظرة حول محورين Doubly symmetric cross-sections

1) المساحة الفعّالة للمقطع النحيف المعرض لضغط صافي

تحسب المساحة الفعّالة للمقطع النحيف A_{eff} اعتمادا على المقطع الفعّال المبين في الشكل (2-10a) حيث يوخذ العرض الفعّال للجسد أو للجناح الداخلي مساوياً إلى سماكة العنصر مضروباً بالقيمة (35ε) في حالة المقاطع المستطيلة المفرغة المشكلة على البارد أما بقية أنواع المقاطع فيكون العرض الفعّال مساوياً سماكة العنصر

مضروبة بالقيمة (40ε). وفي كل الأحوال يبقى الجزء المركزي غير فعّال. ويؤخذ العرض الفعّال لعنصر ناتئ نحيف مساويا للعرض الأعظمي للعنصر فيما لو كان نصف مدمج كما ورد في الجدول 2−2.

2) معامل المقطع المرن الفعّال عندما يكون الجسد بكامله فعّالاً

من أجل المقاطع التي يكون فيها الجسد ليس نحيفا والمعرضة لانعطاف صافي يتم حساب معامل المقطع المرن الفعّال Z_{eff} باستخدام المقطع الفعّال المبين في الشكل (2−10b) بحيث يحدد العرض الفعّال لأي جزء نحيف من الجناح المضغوط كما لو كان نصف مدمج كما ورد في الجدول 2−2.

إذا كان المقطع العرضي بكامله فعّالا في مقاومة الانعطاف حول محور ما فيؤخذ معامل المقطع المرن الفعّال Z_{eff} مساويا لمعامل المقطع المرن Z حول ذلك المحور.

وعندما يكون المقطع العرضي ليس فعّالا بكامله في مقاومة الانعطاف حول المحور الرئيسي أو الثانوي مما يجعل المقطع الفعّال غير متناظر حول ذلك المحور لذلك تؤخذ قيمة Z_{eff} الأصغرمن قيمتيها للمقطع حول نفس المحور.

3) معامل المقطع المرن الفعّال عندما يكون الجسد نحيفاً

عندما يكون جسد المقطع نحيفاً يحسب معامل المقطع المرن الفعّال Z_{eff} اعتماداً على مقطع فعّال له بعرض فعّال b_{eff} للمنطقة المضغوطة من الجسد كما هو مبين في الشكل (2−10c) ويحدد جزء منه بعرض $0.4b_{eff}$ بجوار الجناح المضغوط والجزء المتبقي بعرض $0.6b_{eff}$ بجوار المحور المحايد المرن. ويحدد العرض الفعّال للمنطقة المضغوطة b_{eff} تحت تأثير انعطاف صافي بالعلاقة التالية:

$$b_{eff} = \frac{120\varepsilon t}{\left(1 + \frac{f_{cw} - f_{tw}}{p_{yw}}\right)\left(1 + \frac{f_{tw}}{f_{cw}}\right)}$$

حيث:

p_{yw}: المقاومة التصميمية للجسد. t: سماكة الجسد.

f_{cw}, f_{tw}: إجهادي الشد والضغط الأعظميين في الجسد كما في الشكل (2-10c). ويحسبان على أساس أن الجسد بكامله فعّال مع اعتبار العرض الفعّال للجناح إذا كان نحيفاً

2-5-3 المقاطع المتناظرة حول محورواحد والمقاطع غير المتناظرة

Singly symmetric and unsymmetric cross-sections

يمكن اعتماد نفس قيم العرض الفعّال المبين في الشكل (2-10a) شريطة تطبيق عزم اضافي على المقطع ناتج عن تغير موقع مركز المقطع الفعّال بالمقارنة مع مركز المقطع الكلي.

تحدد قيمة العزم الإضافي من تطبيق قوة ضاغطة $F_c = p_y A_{eff}$ في مركز المقطع الكلي ويتم مقاومتها بتطبيق قوة مساوية ومعاكسة بالاتجاه في مركز المقطع الفعّال، ويجب أن يؤخذ هذه العزوم بالحسبان عند تحقيق طاقة تحمل المقطع العرضي ومقاومة العنصر على التحنيب.

2-5-4 مقاطع الزوايا متساوية الساقين Equal-leg angle sections

يمكن اعتماد الطريقة المبينة في حال المقاطع غير المتناظرة أو يمكن بتحفظ حساب قيم A_{eff} ,Z_{eff} من العلاقتين التاليتين:

$$\frac{A_{eff}}{A} = \frac{12\varepsilon}{b/t} \quad , \quad \frac{Z_{eff}}{Z} = \frac{15\varepsilon}{b/t}$$

2-5-5 طريقة بديلة Alternative method

عندما يكون المقطع نحيفا $(\beta_3 \leq \beta)$ يمكن استخدام مقاومة تصميمية مخفضة للمقطع p_{yr} (كما في BS5950-1990) دون الحاجة للخوض في تحديد المقطع المرن الفعّال والإعتماد على خصائص المقطع الكلي.

$$p_{yr} = (\beta_3/\beta)^2 p_y$$

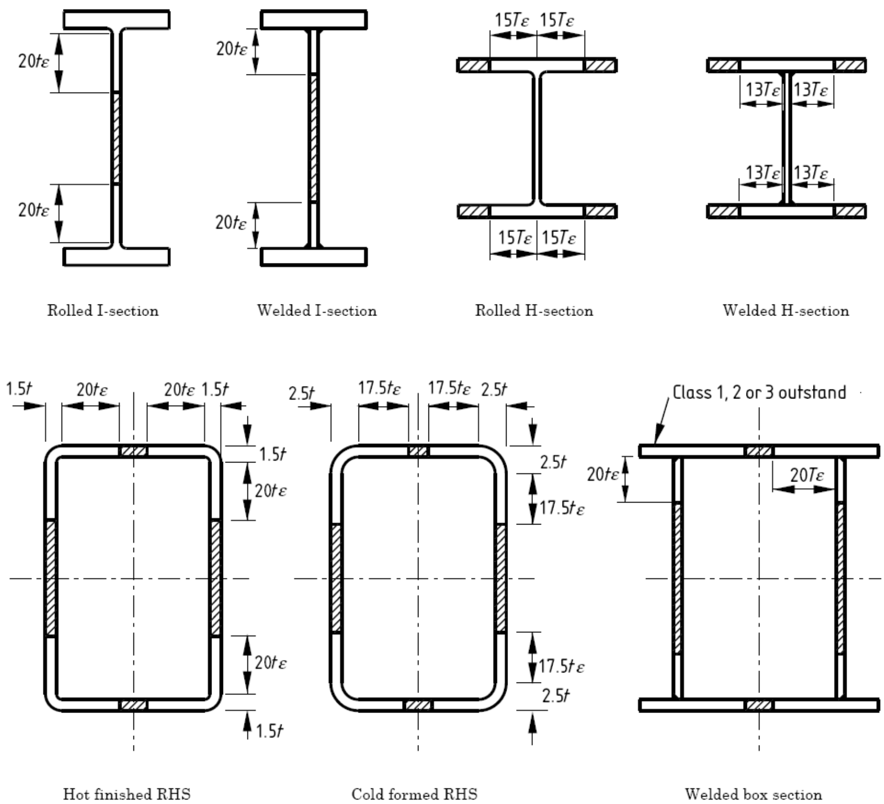
حيث β : قيم D/t, d/t, b/T , b/t للمقطع.

β_3: القيم الحدية المقابلة من أجل مقطع نصف مدمج كما وردت في الجدولين (-2
.2,3)

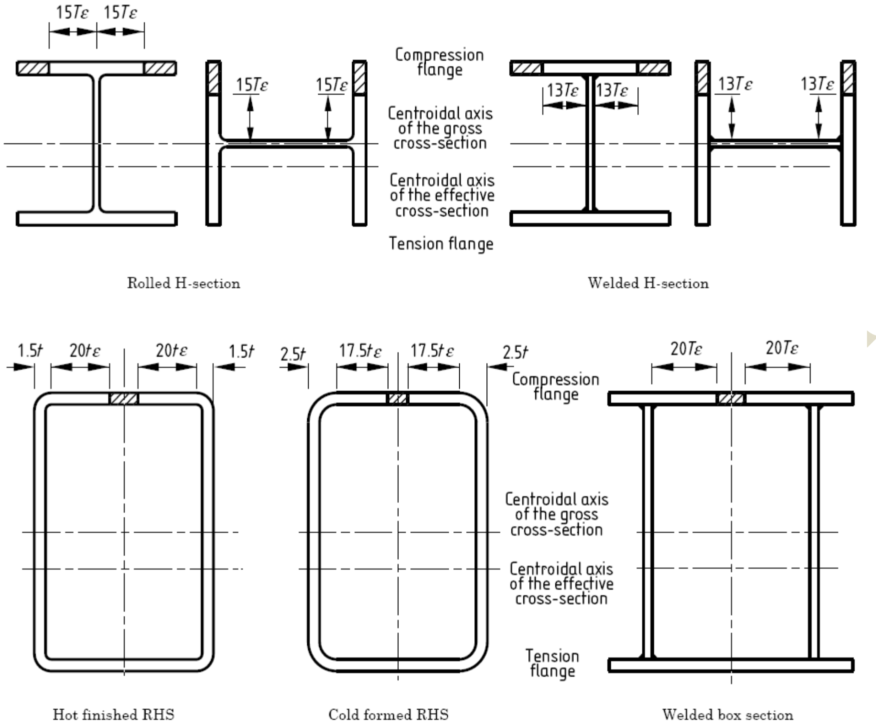
2-5-5 المقاطع الدائرية المفرغة Circular hollow sections

إذا لم يزيد القطر الخارجي D على $240t\varepsilon^2$ فإنه يتم حساب المساحة الفعّالة ومعامل المقطع المرن الفعّال للمقطع النحيف من العلاقتين التاليتين:

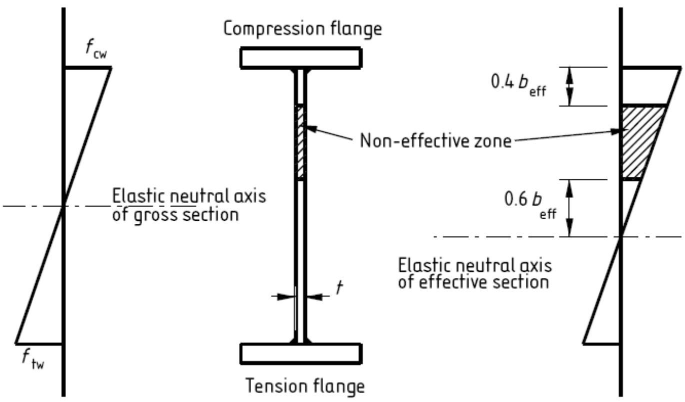
$$\frac{A_{eff}}{A} = \left[\left(\frac{80}{D/t}\right)\left(\frac{275}{p_y}\right)\right]^{0.5} \quad , \quad \frac{Z_{eff}}{Z} = \left[\left(\frac{140}{D/t}\right)\left(\frac{275}{p_y}\right)\right]^{0.25}$$



الشكل (2-10a) المقاطع الفعّالة للمقاطع النحيفة المتناظرة حول محورين تحت تأثير ضغط صافي



الشكل (2−10b) المقاطع الفعّالة النحيفة المتناظرة حول محورين عندما يكون الجسد بكامله فعّالاً تحت تأثير انعطاف صافي



الشكل (2−10c) العرض الفعّال لجسد نحيف معرض لانعطاف صافي

الجـــــدول 2-2

Limiting width to thickness ratio sections other than CHS or RHS — **تحديد نسبة العرض إلى السماكة** للمقاطع غير الدائرية أو المستطيلة المفرغة

Class of Section (limiting value) تصنيف المقطع (القيمة الحدية للنسبة) semi compact (3) نصف مدمج	compact (2) مدمج	plastic (1) لدن	النسبة Ratio	Compression element العنصر المضغوط		
15 ε	**10** ε	**9** ε	b/T	Rolled section مقطع مدرفل		عنصر جناح ناتئ مضغوط outstand element of compression flange
13 ε	**9** ε	**8** ε	b/T	Welded section مقطع ملحوم		عنصر جناح ناتئ مضغوط outstand element of compression flange
40 ε	**32** ε	**28** ε	b/T	compression due to bending ضغط ناتج عن الانعطاف		عنصرداخلي من جناح مضغوط Internal element of compression flange
40 ε	**not applicable**	**غير قابل للتطبيق**	b/T	axial compression ضغط محوري		عنصرداخلي من جناح مضغوط Internal element of compression flange
120 ε	**100** ε	**80** ε	d/t	المحور المحايد في منتصف الارتفاع Neutral axis at mid depth		جسد في مقطع I أو H أو مقطع صندوقي Web of an I-H or box section
120 ε **/(1+2** r_2 **) but ≥ 40** ε	**100** ε **/(1+** r_1 **)**	**80** ε **/(1+** r_1 **) but ≥ 40** ε	d/t	النسبة r_1 سالبة	بشكل عام Genrally	جسد في مقطع I أو H أو مقطع صندوقي Web of an I-H or box section
120 ε **/(1+2** r_2 **) but ≥ 40** ε	**100** ε **/(1+1.5** r_1 **) but ≥40** ε	**80** ε **/(1+** r_1 **) but ≥ 40** ε	d/t	النسبة r_1 موجبة	بشكل عام Genrally	جسد في مقطع I أو H أو مقطع صندوقي Web of an I-H or box section
120 ε **/(1+2** r_2 **) but ≥ 40** ε	not applicable	**غير قابل للتطبيق**	d/t	axial compression ضغط محوري		جسد في مقطع I أو H أو مقطع صندوقي Web of an I-H or box section
40 ε	**40** ε	**40** ε	d/t	web of a channel		جسد مقطع مجراية
15 ε	**10** ε	**9** ε	b/t	Angle, compression due to bending		مقطع زاوية (الضغط ناتج عن الإنعطاف)
15 ε	**10** ε	**9** ε	d/t	Both criteria should be satisfied		يجب تحقيق الشرطين معا

تابع الجـــدول 2-2

Limiting width to thickness ratio sections other than CHS or RHS			تحديد نسبة العرض إلى السماكة للمقاطع غير الدائرية أو المستطيلة المفرغة	
Class of Section (limiting value) تصنيف المقطع (القيمة الحدية للنسبة)			النسبة Ratio	العنصر المضغوط Compression element
semi compact(3) نصف مدمج	**compact (2)** مدمج	**plastic (1)** لدن		
15ε	not applicable غير قابل للتطبيق		**b/t**	زاويه واحدة او زاويتين مفصولتين بينهما فراغ وخاضعه لضغط محوري (يجب تحقيق الشروط الثلاثة معا) Single angle, or double angles with the components separated, axial compression (All three criteria should be satisfied)
15ε			**d/t**	
24ε			**(b+d)/t**	
15ε	**10**ε	**9**ε	b/t	ساق ناتئ من زاوية متصلة ظهر لظهر في عنصر مكون من زاويتين Outstand leg of an angle in contact back to back in double angle member
				ساق ناتئ من زاوية متصلة ظهر لظهرمع عنصر آخر بشكل مستمر Outstand leg of an angle with its back in continuous contact with another component
15ε	**9**ε	**8**ε	D/t	جذع مقطع T سواء كان مدرفل أو مقطوع من مقطع I أو H

* الأبعاد b, D , t ,T تؤخذ كما في الشكل (2-7)
* عند تحديد ε تؤخذ المقاومة التصميمية لمقطع هجين (مقاومة الجناح تختلف عن مقاومة الجسد) مساوية لمقاومة الجناح
* نسب الإجهاد r_1, r_2 معرفة في الفقرة 2-3-2

الجـــدول 2-3

Limiting width to thickness ratio for sections CHS or RHS — تحديد نسبة العرض إلى السماكة للمقاطع الدائرية و المستطيلة المفرغة

Class of Section (limiting value) تصنيف المقطع (القيمة الحدية للنسبة)			النسبة Ratio	العنصر المضغوط Compression element		
semi compact(3) نصف مدمج	**compact (2)** مدمج	**plastic (1)** لدن				
140 ε^2	**50 ε^2**	**40 ε^2**	D/T	compression due to bending ضغط ناتج عن الانعطاف		مقطع دائري مفرغ **CHS**
80 ε^2	not applicable غير مطبق		D/T	axial compression ضغط محوري		
40ε	**32ε** but $\leq 62\varepsilon - 0.5d/t$	**28ε** but $\leq 80\varepsilon - d/t$	b/T	ضغط ناتج عن الانعطاف compression due to bending	**الجناح** Flange	مقطع مستطيل مفرغ منهي على الساخن **HF RHS**
	not applicable غير مطبق		b/T	axial compression ضغط محوري		
120ε	**80ε**	**64ε**	d/t	المحور المحايد في منتصف الارتفاع neutral axis at mid depth	الجسد web	
$120\varepsilon/(1+2r_2)$ but $\geq 40\varepsilon$	**$80\varepsilon/(1+r_1)$ but $\geq 40\varepsilon$**	**$64\varepsilon/(1+0.6r_1)$ but $\geq 40\varepsilon$**	d/t	بشكل عام Generally		
	not applicable غير مطبق		d/t	axial compression ضغط محوري		

تابع الجـدول 2-3

Limiting width to thickness ratio for sections CHS or RHS — تحديد نسبة العرض إلى السماكة للمقاطع الدائرية و المستطيلة المفرغة

Class of Section (limiting value) تصنيف المقطع (القيمة الحدية للنسبة) semi compact (3) نصف مدمج	compact (2) مدمج	plastic (1) لدن	Ratio النسبة	Compression element العنصر المضغوط		
35ε	28ε but $\leq 54\varepsilon - 0.5d/t$	26ε but $\leq 72\varepsilon - d/t$	b/T	compression due to bending ضغط ناتج عن الانعطاف	Flange الجناح	CF RHS مقطع مستطيل مشكل على البارد
	not applicable غير مطبق		b/T	axial compression ضغط محوري		
105ε	70ε	56ε	d/t	neutral axis at mid depth المحور المحايد في منتصف الارتفاع	web الجسد	
$105\varepsilon/(1+2r_2)$ but $\geq 35\varepsilon$	$70\varepsilon/(1+r_1)$ but $\geq 35\varepsilon$	$56\varepsilon/(1+0.6r_1)$ but $\geq 35\varepsilon$	d/t	Generally بشكل عام		
	not applicable غير موجود		d/t	axial compression ضغط محوري		

CF مشكل على البارد
CHS مقطع دائري مفرغ - بمافيه الأنابيب الملحومة
HF منهي على الساخن
RHS مقطع ستطيل مفرغ بما فيه المقاطع المربعة

$\varepsilon = (275/p_y)^{0.5}$

نسب الإجهاد r1, r2 معرفة في الفقرة 2-3-2

من أجل مقطع RHS تؤخذ الأبعاد كما يلي:

من أجل المقطع RHS المنهي على الساخن: b=B-3t, d=D-3t

من أجل مقطع RHS المشكل على البارد: b=B-5t, d=D-5t

تؤخذ الأبعاد B,D,t من الشكل (2-7)

من أجل المقاطع المستطيلة المفرغة و المعرضة لعزم حول محورين انظر الفقرة H3 في الكود

مثال: (2-1)

سيستعمل المقطع الفولاذي 457 x 191 x 67 UB لمقاومة حالات التحميل الثلاثة المبينة فيما يلي:

1) حالة انعطاف صافي
2) حالة انعطاف و قوة ضغط محورية قدرها 700 kN
3) حال ضغط صافي بقوة محورية قدرها 700 kN

صنف المقطع في حالات التحميل الثلاثة علما أن الفولاذ S355

الحـــل:

من جداول المقاطع الفولاذية نجد خصائص المقطع التالية:

$B = 189.9$ mm, $T = 12.7$ mm, $d = 407.6$ mm,

$t = 8.5$ mm, $Ag = 85.5$ cm^2, $Z_x = 1300$ cm^3,

الجدول 2-1

$S_x = 1470$ cm^3 , $b/T = 7.48$, $d/t = 48.0$

$T = 12.7$ mm < 16 mm $\Rightarrow p_y = 355$ N/mm^2

$$\varepsilon = (275/355)^{0.5} = 0.88$$

حالة التحميل الأولى:

الجدول 2-2

تصنيف الجناح: الجناح لدن لأن القيمة الحدية للصنف الأول

$\beta_1 = b/T = 9\varepsilon = 7.92 > 7.48$

تصنيف الجسد: الجسد لدن لأن القيمة الحدية للصنف الأول

$\beta_1 = d/t = 80\varepsilon = 70.4 > 48.0$

وبالتالي المقطع كله لدن

حالة التحميل الثانية:

تصنيف الجناح: الجناح لدن كما في الحالة الأولى

تصنيف الجسد: بما أن المحور المحايد لا يمر من منتصف الإرتفاع

فلابد من تحديج نسبتي الإجهادات r_1 و r_2 $r_1 = F_c / d\ t\ p_y = 700 \times 10^3 / 407.6 \times 8.5 \times 355 = 0.569$ $r_2 = F_c / A_g\ p_y = 700 \times 10^3 / 8550 \times 355 = 0.231$ تحدد القيمة الحدية للصنف الثاني من المقاطع كما يلي: $\beta_2 = d/t = 100\varepsilon / (1+1.5r_1) = 88 / (1+1.5 \times 0.569) = 47.5$ وتحدد القيمة الحدية للصنف الثالث من المقاطع كما يلي: $\beta_3 = d/t = 120\varepsilon / (1+2r2) = 105.6 / (1+2 \times 0.231) = 72.2$ القيمة الحدية الفعلية للمقطع $72.2 > \beta = d/t = 48 > 47.5$ إذاً الجسد نصف مدمج وبالتالي المقطع كله نصف مدمج حالة التحميل الثالثة: تصنيف الجناح: الجناح لدن كما في الحالة الأولى تصنيف الجسد: عند دراسة جسد مقطع I تحت تأثير ضغط محوري فإنه توجد نهاية حدية واحدة $\beta_3 = d/t$ في الجدول 2-2 وهي نفس النهاية في الحالة الثانية وعليه فإن الجسد نصف مدمج وبالتالي المقطع كله نصف مدمج	الجدول 2-2

الفصل الثالث

تصميم العناصر المشدودة

Design of Tension Members

3 -1 مقدمة

تعد العناصر التي تنقل قوى شد محورية بين نقطتين من منشأ, أبسط وأكفأ العناصر الإنشائية. لكن هذه الكفاءة تنخفض نسبياً في كثير من الأحيان بسبب اللامركزية الناتجة عن الوصلات الطرفية التي تصل هذه العناصر مع بقية المنشأ، وتستخدم مقاطع فولاذية مختلفة مفتوحة أو مغلقة كعناصر مشدودة مثل زوايا أو مجاري أو مقاطع على شكل T أو مقاطع مفرغة. كما يمكن استخدام مقاطع مجمعة من زاويتين أو مجرايتين فيكون للمقطع المجمع محور تناظر مما يخفض بشكل كبير اللامركزية الناتجة عن الوصلات وفي هذه الحالة يجب ربط العنصرين المكونين للمقطع المجمع مع بعضهما عند مسافات لتأمين العمل المشترك لهذه العناصر. وتستخدم أيضاً القضبان والمبسّطات والكابلات كعناصر مشدودة، لكن عطالتها صغيرة لذا تهتز نتيجة أحمال الرياح أو الأحمال المتحركة، لذا لا بد من تركيز الاهتمام على تخفيف هذا الاهتزاز. وتصادف العناصر المشدودة في الوتر السفلي للجوائز الشبكية أو كشدادات داخلية فيها ، كما تصادف في جمل التربيط في الأبنية وفي الجسور والأبنية المعلقة.

3 - 2 طاقة التحمل على الشد Tension Capacity

تحدد طاقة تحمل عنصر على الشد وفق العلاقة التالية:

$$P_t = A_e \ p_y \qquad (3\text{-}1)$$

حيث:

p_y : المقاومة التصميمية (Design Strength of steel) وتتعلق بإجهاد السيلان Y_s وبمقاومة الشد القصوى للفولاذ U_s وتحدد من الجدول (2-1)

A_e : المساحة الفعّالة للمقطع العرضي. وتحدد بجمع المساحات الفعالة الصافية a_e لجميع العناصر المكونه للمقطع العرضي على أن لا تزيد على 1.2 من المساحة الصافية للمقطع العرضي. وتحسب المساحة الصافية a_n لعنصر بطرح مساحة الثقوب المعدة للبراغي من مساحة العنصر الكلية a_g.

$$a_e = K_e . a_n \qquad (3-2)$$

K_e معامل تحدد قيمته من الجدول التالي وفقاً لنوع الفولاذ

K_e	نوع الفولاذ
1.2	S275
1.1	S355
1.0	S460

وتحدد K_e من أجل أنواع الفولاذ الأخرى بالعلاقة التالية:

$$K_e = (U_s / 1.2) / p_y \qquad (3-3)$$

3 - 3 تأثير اللامركزية الناتجة عن الوصلات الطرفية Eccentricity of end connections

عند تصميم العناصر المشدودة ذات المقاطع على شكل زاوية أو مجراية أو حرف T يجب أخذ اللامركزية الناتجة عن طريقة وصل طرفيها بالحسبان وذلك بالطرائق المبسطة المذكورة في الفقرات التالية:

* عندما يتألف العنصر من زاوية واحدة موصولة بأحد ساقيها، أو من مجراية موصولة بجسدها، أو من مقطع على شكل حرف T موصول بجناحه كما في الشكلين (3-1-a,b) يتم حساب طاقة تحمل المقطع كما يلي:

1. في حالة الوصل بالبراغي:

$$P_t = (A_e - 0.5a_2)\ p_y \qquad (3\text{-}4)$$

2. في حالة الوصل باللحام:

$$P_t = (A_e - 0.3a_2)\ p_y \qquad (3\text{-}5)$$

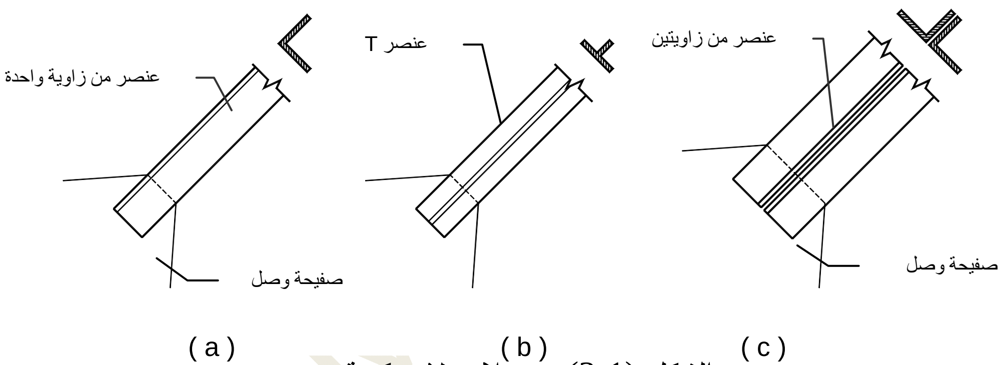
$$a_2 = A_g - a_1$$

حيث:

A_g المساحة الكلية للمقطع العرضي

a_1 المساحة الكلية للعنصر الموصول.من المقطع العرضي وتساوي حاصل ضرب عرض العنصر بسماكته

a_2 المساحة الكلية للعنصر غير الموصول.من المقطع العرضي.



الشكل (3-1) وصلات لا مركزية

* عندما يتألف العنصر من زاويتين موصولتين ظهر إلى ظهر على جانب واحد من صفيحة الوصل كما في الشكل (3-1c) حيث تكون الزاويتان على تماس مباشر أو مفصولتين بمسافة لا تزيد على سماكة أي من الأجزاء الموصولة مع حشوات صلبة بينهما، وبحيث تكون الزاويتان موصولتين ببراغي أو لحام كما في الشكل (3-2). يتم حساب طاقة تحمل المقطع كما في الفقرة السابقة.
* عندما يتألف العنصر من مقطعين (زاويتين، مقطعين T، مقطعين مجرايه) موصولين ظهر إلى ظهر على جانبي صفيحة الوصل كما في الشكل (3-3) وبحيث يكون المقطعان مربوطين ببعضهما ببراغي أو بلحام في موقعين على

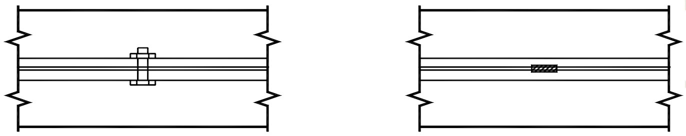
الأقل على طول العنصر كما في الشكل (3-2)، يتم حساب طاقة تحمل المقطع كما يلي.

1. في حالة الوصل بالبراغي:

$$P_t = (A_e - 0.25a_2)\ p_y \qquad (3\text{-}6)$$

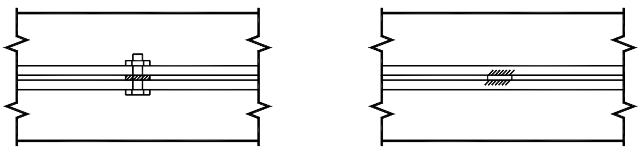
2. . في حالة الوصل باللحام:

$$P_t = (A_e - 0.15a_2)\ p_y \qquad (3\text{-}7)$$



(b) ربط بواسطة اللحام للزاويتين المتلاصقتين

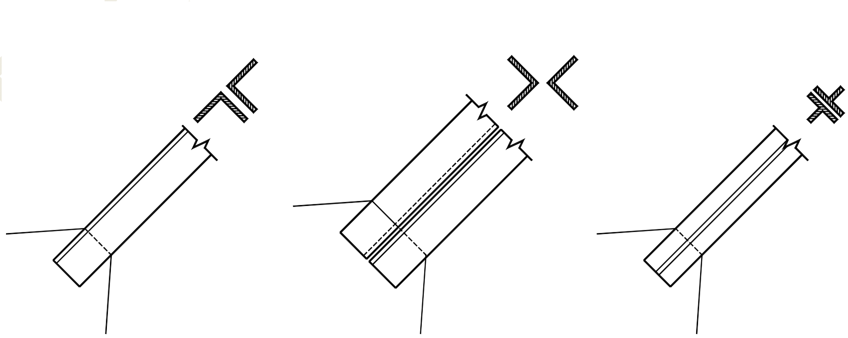
(a) ربط بواسطة البراغي للزاويتين المتلاصقتين



(d) ربط بواسطة اللحام للزوايتين المتباعدتين

(c) ربط بواسطة البراغي للزاوايتين المتباعدتين

الشكل (3-2) ربط الزاويتين ببعضهما باللحام أو بالبراغي



الشكل (3-3)

4 - 3 العناصر الخاضعة لشد مع عزم انعطاف Combined bending and tension

ينتج عزم الانعطاف في العناصر المشدودة إما نتيجة وصلها لا مركزياً أو نتيجة الأحمال الجانبية (غير المحورية) التي تخضع لها أو نتيجة أفعال الإطارات الصلبة.

يجب أن يتم تحقيق طاقة تحمل هذه العناصر في المواقع التي يكون فيها عزم الانعطاف والقوة المحورية أعظميين وذلك وفق العلاقة التالية:

$$\frac{F}{A_e\ p_y}+\frac{M_x}{M_{cx}}+\frac{M_y}{M_{cy}}\le 1 \qquad (3\text{-}6)$$

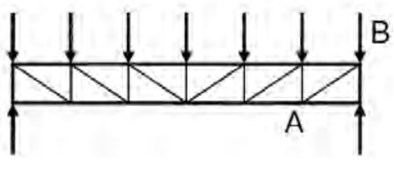
حيث : F قوة الشد المحورية في العنصر، A_e المساحة الفعالة للعنصر، p_y المقاومة التصميمية للفولاذ.

M_x , M_y عزمي الانعطاف المطبقين حول المحورين الرئيسيين لمقطع العنصر في الموقع الحرج.

M_{cx} , M_{cy} طاقة تحمل المقطع على الانعطاف حول المحورين x و y وتحسبان وفقاً للفقرة (3 - 5)

مثال: (3-1)

صمم العنصر المشدود AB من الجائز الشبكي المبين أدناه مع العلم أن القوة الناتجة عن الأحمال الميتة $112\ kN$ وعن الأحمال الحية $200\ kN$ وأن ماركة الفولاذ المستخدم S355 وذلك باستخدام وصلات لحام أولاً ثم باستخدام وصلات براغي

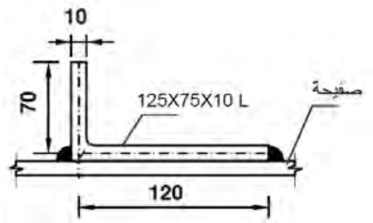


<u>الحل:</u>

* الحمل المصعّد: $F=(1.4\text{ x }112)+(1.6\text{ x }200)=476.8\,kN$

* بما أن الفولاذ المستخدم هو S355 وبفرض سماكة العنصر أقل من $16\,mm$ فإن المقاومة التصميمية على الشد $p_y = 355\,N/mm^2$ — الجدول (2-1)

أولاً – تصميم العنصر مع استخدام وصلات لحام:



* لنجرب زاوية منفردة $125 \times 75 \times 10$ مساحتها الكلية $A_g = 1920\ mm^2$ موصولة بساقها الطويلة إلى صفيحة وصل

* تحسب المساحة الصافية الفعالة A_e كما يلي:

$$A_g = a_1 + a_2$$

$$a_1 = 125 \times 10 = 1250\,mm^2$$

$$a_2 = A_g - a_1 = 670\,mm^2$$

$$A_e = A_g = 1920\,mm^2$$

* تحسب قوة التحمل على الشد وفق العلاقة :

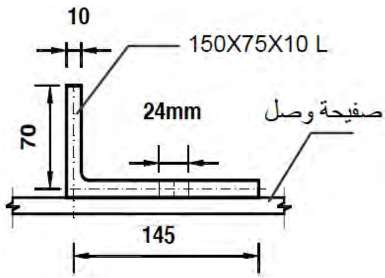
العلاقة (3-5)

$$P_t = (A_e - 0.3a_2)\,p_y$$

$$P_t = (1920 - 0.3 \times 670) \times 355 \times 10^{-3} = 610\,kN > 476.8\,kN \quad o.k.$$

ثانياً – تصميم العنصر مع استخدام وصلات براغي:

* لنجرب زاوية منفردة $150 \times 75 \times 10$ مساحتها الكلية $A_g = 2170\ mm^2$ موصولة بساقها الطويلة ببراغي قطر $22\ mm$



* تحسب المساحة المكافئة A_e كما يلي:

$$a_1 = 150 \text{ x} 10 = 1500\ mm^2$$

$$a_2 = A_g - a_1 = 670\ mm^2$$

العلاقـة (3-4)

$$a_{1n} = (150 - 24) \times 10 = 1260\ mm^2$$

$$a_{1e} = k_e \times a_{1n} = 1.1 \times 1260 = 1386\ mm^2$$

$$A_n = 1386 + 670 = 2056\ mm^2 < A_g$$

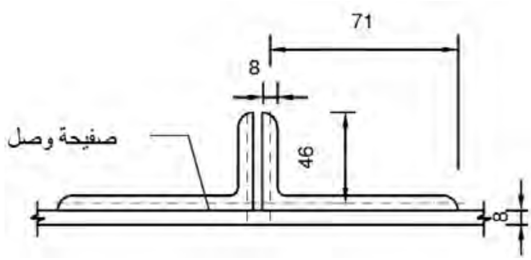
* تحسب قوة التحمل على الشد وفق العلاقة:

$$P_t = (A_e - 0.5 a_2)\ p_y$$

$$P_t = (2056 - 0.5 \times 670) \text{ x } 355 \text{ x } 10^{-3} = 610.9\ kN > 476.8\ kN \quad o.k.$$

مثال: (3-2)

صمم العنصر AB المذكور في المثال (3-1) بحيث يتألف من زاويتين موصولتين ظهر لظهر على جانب صفيحة الوصل بواسطة اللحام كما هو مبين في الشكل أدناه:



<u>الحل:</u>

* سنختار زاويتين قياس كل منهما 8 x 50 x 75 ومساحتها الكلية $A_g = 944\ mm^2$ ماركة فولاذهما S355 وموصولتين ظهر لظهر بساقيهما الطويلتين كما في الشكل أعلاه * بما أن سماكة الزوايا $8\ mm$ فإن المقاومة التصميمية $p_y = 355\ N/mm^2$ * تحسب المساحة الفعالة كما يلي: $a_1 = 2 \times 75 \text{ x } 8 = 1200\ mm^2$ $a_2 = 2 \times 944 - 1200 = 688\ mm^2$ $A_e = 2 \times A_g = 1888\ mm^2$	الجدول (2-1)
تحسب قوة تحمل الشد وفق العلاقة : $P_t = (A_e - 0.3 a_2)\ p_y$ $P_t = (1888 - 0.3 \times 688) \times 355 \times 10^{-3} = 597 kN > 476.8 kN \quad O.K$	العلاقة (3-5)

الفصل الرابع

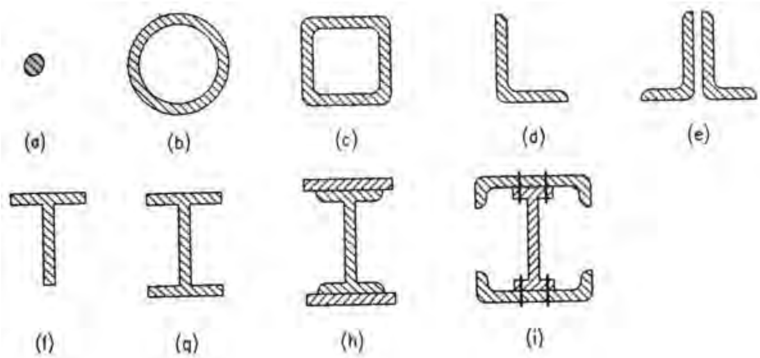
تصميم العناصر المضغوطة
Design of Columns and Struts

4 – 1 مقدمـة:

توجد العناصر المضغوطة كأعمدة في الإطارات أو كعناصر مضغوطة من الجوائز الشبكية أو في مواقع من الإطارات الفراغية وقلما توجد محملة قوى ضغط محوري بمفردها، ولكن يجب أن تقاوم عزوم انعطاف أيضاً. ومع ذلك يعد تحديد تحمل العنصر على الضغط المحوري مسألة بالغة الأهمية في تصميم المنشآت الفولاذية. وهذا ما سنقوم به في هذا الفصل.

يبين الشكل (4-1) أشكالاً مختلفة من المقاطع الفولاذية التي تستخدم كعناصر مضغوطة. والذي يؤثر غالباً على اختيار شكل المقطع هو درجة صعوبة تنفيذ الوصلات، فمثلاً يعد المقطع المفرغ المغلق مثالياً من الناحية النظرية ولكن المقطع المفتوح أفضل منه عملياً لأن تنفيذ وصلاته في الموقع أسهل ولا يحتاج لمعدات خاصة أو يد عاملة ذات خبرة عالية.

من أهم العوامل التي تحدد طاقة تحمل عنصر على الضغط المحوري هي نسبة نحافته λ والتي تعرف بأنها النسبة بين الطول الفعّال للعنصر L_E والذي يحدد في الفقرة (4-3) ونصف قطر عطالة مقطعه r في الاتجاه المدروس.



الشكل (4-1) مقاطع عرضية نموذجية

تبدأ عملية تصميم أي عنصر مضغوط باختيار مقطع عرضي له بعد أن يتم تحديد حمله وشروط استناده. عندها يجب إجراء التحقيقات التالية حسب الحالة المدروسة:

* تحنيب انعطاف كلي: يتعلق بشكل رئيسي بنسبة نحافة العنصر والتي تتعلق بدورها بطوله وبمساحة وشكل مقطعه العرضي إضافة إلى شروط استناده ويتعلق أيضاً بشكل العنصر.

* تحنيب موضعي: يتعلق بالنسبة بين عرض وسماكة العناصر الصفائحية المكونة للمقطع العرضي.

* تحنيب مركبات الأجزاء: هذا يخص المقاطع المجمعة مثل الأعمدة المربطة أو المدعمة بعوارض, فيجب التأكد من مقاومة كل جزء من أجزاء المقطع.

* تحنيب انعطاف مع فتل أو تحنيب فتل: يخص المقاطع المشكلة على البارد والمقاطع المفتوحة والثقيلة ذات الشكل غير الطبيعي. حيث يكون هذا النوع من التحنيب أكثر حرجاً من تحنيب الانعطاف الكلي.

* بشكل مبدئي يجب تحقيق التحنيب الموضعي والتحنيب الكلي ولكن بشكل عملي عندما يحقق المقطع شروط المقطع نصف المدمج كحد أدنى فلا حاجة لتحقيق التحنيب الموضعي.

4 - 2 طاقة التحمل على الضغط Compressive resistance

تتعلق طاقة تحمل عنصر مضغوط بنسبة نحافته وبمقاومة مادته وبشكل مقطعه وبطريقة تصنيعه. وتحسب وفق الكود BS 5950 كما يلي:

1. من أجل المقاطع غير النحيفة:

$$P_c = A_g \; p_c \qquad (4\text{-}1)$$

2. من أجل المقاطع النحيفة:

$$P_c = A_{eff} \; p_{cs} \qquad (4\text{-}2)$$

حيث:

A_g مساحة المقطع العرضي كاملة

p_c مقاومة الضغط (Compressive strength) وتتعلق بنسبة النحافة λ والمقاومة التصميمية p_y .

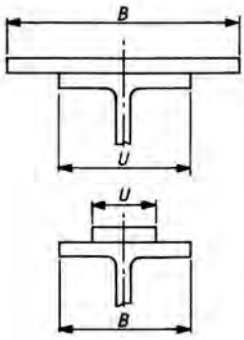
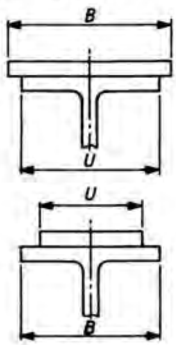
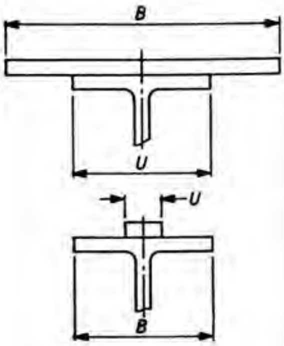
A_{eff}: المساحة الفعّالة للمقطع تحدد كما ذكر في الفصل الثاني

p_{cs}: مقاومة الضغط للمقاطع النحيفة وهي نفسها p_c ولكن من أجل نسبة نحافة مخفضة بالقيمة $(A_{eff} / A_g)^{0.5}$.

ويجب تخفيض المقاومة التصميمية بـ $20N/mm^2$ عندما يكون المقطع مصنعاً باللحام من صفائح. يتم الحصول على قيم p_c بدلالة λ و p_y من الجداول (4-3a-d) والتي تأخذ بالحسبان أشكال المقاطع العرضية حيث بينت التجارب أنه من أجل نسبة نحافة λ محددة فإن بعض المقاطع تكون ذات أداء أفضل من مقاطع أخرى عندما تستعمل كأعمدة وهذا مرده بشكل أساسي إلى توزيع المادة على المقطع العرضي وبشكل ثانوي إلى الإجهادات المتبقية نتيجة التبريد التفاضلي (التبريد غير المنتظم) أثناء عملية الدرفلة على الحامي، ولهذا قبل الدخول في الجداول (4-3 a- d) لا بد من العودة إلى الجدول (4-2) الذي يصنف أنواع المقاطع العرضية، وبناءً عليه يحدد أي من الجداول (4-3a-d) يجب استخدامه.

تطبق الطريقة السابقة على كل المقاطع التي تستخدم كعناصر مضغوطة بما فيها المقاطع المقواة بصفائح ملحومة على جناح المقطع والمبينة في الجدول (1-4)

الجدول 1-4 نوع المقطع للاستخدام في الجدول 2-4

(a) مقاطع مدرفلة H أو I	(b) مقاطع مدرفلة H أو I مع صفيحة تغطية ملحومة على الجناح	(c) مقاطع صفائحية H أو I
		
$0.25 < \frac{U}{B} < 0.8$	$\frac{U}{B} \geq 0.8$	$\frac{U}{B} \leq 0.25$

الجـــدول 4-2 اختيار الجدول المناسب لمقاومة الضغط التصميمية p_c

Type of section نوع المقطع	السماكة القصوى	محور التحنيب Axis of buckling x-x	y-y
مقطع مفرغ منهي على الحامي Hot-finished structural hollow section		4-3a	4-3a
مقطع مفرغ مشكل على البارد Cold-formed structural hollow section		4-3c	4-3c
Rolled I-section مقطع I مدفل	≤40 mm >40 mm	4-3a 4-3b	4-3b 4-3c
Rolled H-section مقطع H مدرفل	≤40 mm >40 mm	4-3b 4-3c	4-3c 4-3d
Welded I or H-section مقطع I أو H مشكل باللحام	≤40 mm >40 mm	4-3b 4-3b	4-3c 4-3d
مقطع I مع صفيحة غطاء ملحومة على الجناح كما في الجدول 4-1a Rolled I-section with welded flange cover plates	≤40 mm >40 mm	4-3a 4-3b	4-3b 4-3c
مقطع H مع صفيحة غطاء ملحومة على الجناح كما في الجدول 4-1a Rolled H-section with welded flange cover plates	≤40 mm >40 mm	4-3b 4-3c	4-3c 4-3d
مقطع I أو H مع صفيحة غطاء ملحومة على الجناح كما في الجدول 4-1b Rolled I or H-section with welded flange cover plates	≤40 mm >40 mm	4-3b 4-3c	4-3a 4-3b
مقطع I أو H مع صفيحة غطاء ملحومة على الجناح كما في الجدول 4-1c Rolled I or H-section with welded flange cover plates	≤40 mm >40 mm	4-3b 4-3b	4-3c 4-3d
Welded box section مقطع صندوقي مشكل باللحام	≤40 mm >40 mm	4-3b 4-3c	4-3b 4-3c
قضبان دائرية أو مربعة المقطع أو مبسطات Round, square or flat bar	≤40 mm >40 mm	4-3b 4-3c	4-3b 4-3c
مقاطع زوايا أو مجاري أو حرف T Rolled angle, channel or T-section مقطعين مدرفلين مجمعين ظهر لظهر أو بالتربيط Two rolled sections laced, battened or back-to-back Compound rolled sections مقاطع مدرفلة مجمعة		Any axis: 4-3c	

Compressive strength p_c (N/mm²) المقاومة التصميمية للضغط

1) Values of p_c in N/mm² with $\lambda < 110$ for strut curve a — الجدول 3–4 a

λ	Steel grade and design strength p_y (N/mm²)														
	S 275					S 355					S 460				
	235	**245**	**255**	**265**	**275**	**315**	**325**	**335**	**345**	**355**	**400**	**410**	**430**	**440**	**460**
15	235	245	255	265	275	315	325	335	345	355	399	409	429	439	458
20	234	244	254	264	273	312	322	332	342	351	395	405	424	434	453
25	232	241	251	261	270	309	318	328	338	347	390	400	419	429	448
30	229	239	248	258	267	305	315	324	333	343	385	395	414	423	442
35	226	236	245	254	264	301	310	320	329	338	380	389	407	416	434
40	223	233	242	251	260	296	305	315	324	333	373	382	399	408	426
42	222	231	240	249	258	294	303	312	321	330	370	378	396	404	422
44	221	230	239	248	257	292	301	310	319	327	366	375	392	400	417
46	219	228	237	246	255	290	299	307	316	325	363	371	388	396	413
48	218	227	236	244	253	288	296	305	313	322	359	367	383	391	407
50	216	225	234	242	251	285	293	302	310	318	355	363	378	386	401
52	215	223	232	241	249	282	291	299	307	315	350	358	373	380	395
54	213	222	230	238	247	279	287	295	303	311	345	353	367	374	388
56	211	220	228	236	244	276	284	292	300	307	340	347	361	368	381
58	210	218	226	234	242	273	281	288	295	303	334	341	354	360	372
60	208	216	224	232	239	269	277	284	291	298	328	334	346	352	364
62	206	214	221	229	236	266	273	280	286	293	321	327	338	344	354
64	204	211	219	226	234	262	268	275	281	288	314	320	330	335	344
66	201	209	216	223	230	257	264	270	276	282	307	312	321	326	334
68	199	206	213	220	227	253	259	265	270	276	299	303	312	316	324
70	196	203	210	217	224	248	254	259	265	270	291	295	303	306	313
72	194	201	207	214	220	243	248	253	258	263	282	286	293	296	302
74	191	198	204	210	216	238	243	247	252	256	274	277	283	286	292
76	188	194	200	206	212	232	237	241	245	249	265	268	274	276	281
78	185	191	197	202	208	227	231	235	239	242	257	259	264	267	271
80	182	188	193	198	203	221	225	229	232	235	248	251	255	257	261
82	179	184	189	194	199	215	219	222	225	228	240	242	246	248	251
84	176	181	185	190	194	209	213	216	219	221	232	234	237	239	242
86	172	177	181	186	190	204	207	209	212	214	224	225	229	230	233
88	169	173	177	181	185	198	200	203	205	208	216	218	220	222	224
90	165	169	173	177	180	192	195	197	199	201	209	210	213	214	216
92	162	166	169	173	176	186	189	191	193	194	201	203	205	206	208
94	158	162	165	168	171	181	183	185	187	188	194	196	198	199	200
96	154	158	161	164	166	175	177	179	181	182	188	189	191	192	193
98	151	154	157	159	162	170	172	173	175	176	181	182	184	185	186
100	147	150	153	155	157	165	167	168	169	171	175	176	178	178	180
102	144	146	149	151	153	160	161	163	164	165	169	170	172	172	174
104	140	142	145	147	149	155	156	158	159	160	164	165	166	166	168
106	136	139	141	143	145	150	152	153	154	155	158	159	160	161	162
108	133	135	137	139	141	146	147	148	149	150	153	154	155	156	157

2) Values of p_c (N/mm^2) with $\lambda \geq 110$ for strut curve a — a 4-3 تابع الجدول

λ	Steel grade and design strength p_y (in N/mm^2)														
	S 275					S 355					S 460				
	235	**245**	**255**	**265**	**275**	**315**	**325**	**335**	**345**	**355**	**400**	**410**	**430**	**440**	**460**
110	130	132	133	135	137	142	143	144	144	145	148	149	150	150	151
112	126	128	130	131	133	137	138	139	140	141	144	144	145	146	146
114	123	125	126	128	129	133	134	135	136	136	139	140	141	141	142
116	120	121	123	124	125	129	130	131	132	132	135	135	136	137	137
118	117	118	120	121	122	126	126	127	128	128	131	131	132	132	133
120	114	115	116	118	119	122	123	123	124	125	127	127	128	128	129
122	111	112	113	114	115	119	119	120	120	121	123	123	124	124	125
124	108	109	110	111	112	115	116	116	117	117	119	120	120	121	121
126	105	106	107	108	109	112	113	113	114	114	116	116	117	117	118
128	103	104	105	105	106	109	109	110	110	111	112	113	113	114	114
130	100	101	102	103	103	106	106	107	107	108	109	110	110	110	111
135	94	95	95	96	97	99	99	100	100	101	102	102	103	103	103
140	88	89	90	90	91	93	93	93	94	94	95	95	96	96	96
145	83	84	84	85	85	87	87	87	88	88	89	89	90	90	90
150	78	79	79	80	80	82	82	82	82	83	83	84	84	84	84
155	74	74	75	75	75	77	77	77	77	78	78	79	79	79	79
160	70	70	70	71	71	72	72	73	73	73	74	74	74	74	75
165	66	66	67	67	67	68	68	69	69	69	70	70	70	70	70
170	62	63	63	63	64	64	65	65	65	65	66	66	66	66	66
175	59	59	60	60	60	61	61	61	61	62	62	62	62	63	63
180	56	56	57	57	57	58	58	58	58	58	59	59	59	59	59
185	53	54	54	54	54	55	55	55	55	55	56	56	56	56	56
190	51	51	51	51	52	52	52	52	53	53	53	53	53	53	53
195	48	49	49	49	49	50	50	50	50	50	50	51	51	51	51
200	46	46	46	47	47	47	47	47	48	48	48	48	48	48	48
210	42	42	42	43	43	43	43	43	43	43	44	44	44	44	44
220	39	39	39	39	39	39	39	40	40	40	40	40	40	40	40
230	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	37	37	37	37	37
240	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	34	34	34	34	34
250	30	30	30	30	30	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
260	28	28	28	28	28	28	29	29	29	29	29	29	29	29	29
270	26	26	26	26	26	26	27	27	27	27	27	27	27	27	27
280	24	24	24	24	24	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
290	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
300	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
310	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
320	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
330	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
340	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
350	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

3) Values of p_c (N/mm²) with λ < 110 for strut curve b															b 4-3الجدول
λ	Steel grade and design strength p_y (N/mm²)														
	S 275					S 355					S 460				
	235	**245**	**255**	**265**	**275**	**315**	**325**	**335**	**345**	**355**	**400**	**410**	**430**	**440**	**460**
15	235	245	255	265	275	315	325	335	345	355	399	409	428	438	457
20	234	243	253	263	272	310	320	330	339	349	391	401	420	429	448
25	229	239	248	258	267	304	314	323	332	342	384	393	411	421	439
30	225	234	243	253	262	298	307	316	325	335	375	384	402	411	429
35	220	229	238	247	256	291	300	309	318	327	366	374	392	400	417
40	216	224	233	241	250	284	293	301	310	318	355	364	380	388	404
42	213	222	231	239	248	281	289	298	306	314	351	359	375	383	399
44	211	220	228	237	245	278	286	294	302	310	346	354	369	377	392
46	209	218	226	234	242	275	283	291	298	306	341	349	364	371	386
48	207	215	223	231	239	271	279	287	294	302	336	343	358	365	379
50	205	213	221	229	237	267	275	283	290	298	330	337	351	358	372
52	203	210	218	226	234	264	271	278	286	293	324	331	344	351	364
54	200	208	215	223	230	260	267	274	281	288	318	325	337	344	356
56	198	205	213	220	227	256	263	269	276	283	312	318	330	336	347
58	195	202	210	217	224	252	258	265	271	278	305	311	322	328	339
60	193	200	207	214	221	247	254	260	266	272	298	304	314	320	330
62	190	197	204	210	217	243	249	255	261	266	291	296	306	311	320
64	187	194	200	207	213	238	244	249	255	261	284	289	298	302	311
66	184	191	197	203	210	233	239	244	249	255	276	281	289	294	301
68	181	188	194	200	206	228	233	239	244	249	269	273	281	285	292
70	178	185	190	196	202	223	228	233	238	242	261	265	272	276	282
72	175	181	187	193	198	218	223	227	232	236	254	257	264	267	273
74	172	178	183	189	194	213	217	222	226	230	246	249	255	258	264
76	169	175	180	185	190	208	212	216	220	223	238	241	247	250	255
78	166	171	176	181	186	203	206	210	214	217	231	234	239	241	246
80	163	168	172	177	181	197	201	204	208	211	224	226	231	233	237
82	160	164	169	173	177	192	196	199	202	205	217	219	223	225	229
84	156	161	165	169	173	187	190	193	196	199	210	212	216	218	221
86	153	157	161	165	169	182	185	188	190	193	203	205	208	210	213
88	150	154	158	161	165	177	180	182	185	187	196	198	201	203	206
90	146	150	154	157	161	172	175	177	179	181	190	192	195	196	199
92	143	147	150	153	156	167	170	172	174	176	184	185	188	189	192
94	140	143	147	150	152	162	165	167	169	171	178	179	182	183	185
96	137	140	143	146	148	158	160	162	164	165	172	173	176	177	179
98	134	137	139	142	145	153	155	157	159	160	167	168	170	171	173
100	130	133	136	138	141	149	151	152	154	155	161	162	164	165	167
102	127	130	132	135	137	145	146	148	149	151	156	157	159	160	162
104	124	127	129	131	133	141	142	144	145	146	151	152	154	155	156
106	121	124	126	128	130	137	138	139	141	142	147	148	149	150	151
108	118	121	123	125	126	133	134	135	137	138	142	143	144	145	147

4) Values of p_c (N/mm²) with $\lambda \geq 110$ for strut curve b تابع الجدول 4-3 b

λ	Steel grade and design strength p_y (N/mm²)														
	S 275					S 355					S 460				
	235	**245**	**255**	**265**	**275**	**315**	**325**	**335**	**345**	**355**	**400**	**410**	**430**	**440**	**460**
110	115	118	120	121	123	129	130	131	133	134	138	139	140	141	142
112	113	115	117	118	120	125	127	128	129	130	134	134	136	136	138
114	110	112	114	115	117	122	123	124	125	126	130	130	132	132	133
116	107	109	111	112	114	119	120	121	122	122	126	126	128	128	129
118	105	106	108	109	111	115	116	117	118	119	122	123	124	124	125
120	102	104	105	107	108	112	113	114	115	116	119	119	120	121	122
122	100	101	103	104	105	109	110	111	112	112	115	116	117	117	118
124	97	99	100	101	102	106	107	108	109	109	112	112	113	114	115
126	95	96	98	99	100	103	104	105	106	106	109	109	110	111	111
128	93	94	95	96	97	101	101	102	103	103	106	106	107	107	108
130	90	92	93	94	95	98	99	99	100	101	103	103	104	105	105
135	85	86	87	88	89	92	93	93	94	94	96	97	97	98	98
140	80	81	82	83	84	86	87	87	88	88	90	90	91	91	92
145	76	77	78	78	79	81	82	82	83	83	84	85	85	86	86
150	72	72	73	74	74	76	77	77	78	78	79	80	80	80	81
155	68	69	69	70	70	72	72	73	73	73	75	75	75	76	76
160	64	65	65	66	66	68	68	69	69	69	70	71	71	71	72
165	61	62	62	62	63	64	65	65	65	65	66	67	67	67	68
170	58	58	59	59	60	61	61	61	62	62	63	63	63	64	64
175	55	55	56	56	57	58	58	58	59	59	60	60	60	60	60
180	52	53	53	53	54	55	55	55	56	56	56	57	57	57	57
185	50	50	51	51	51	52	52	53	53	53	54	54	54	54	54
190	48	48	48	48	49	50	50	50	50	50	51	51	51	51	52
195	45	46	46	46	46	47	47	48	48	48	49	49	49	49	49
200	43	44	44	44	44	45	45	45	46	46	46	46	47	47	47
210	40	40	40	40	41	41	41	41	42	42	42	42	42	43	43
220	36	37	37	37	37	38	38	38	38	38	39	39	39	39	39
230	34	34	34	34	34	35	35	35	35	35	35	36	36	36	36
240	31	31	31	31	32	32	32	32	32	32	33	33	33	33	33
250	29	29	29	29	29	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
260	27	27	27	27	27	27	28	28	28	28	28	28	28	28	28
270	25	25	25	25	25	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
280	23	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
290	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	23	23
300	20	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
310	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
320	18	18	18	18	18	18	18	19	19	19	19	19	19	19	19
330	17	17	17	17	17	17	17	17	17	18	18	18	18	18	18
340	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17
350	15	15	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

5) Values of p_c (N/mm^2) with λ < 110 for strut curve c															c 4-3 الجدول
λ	Steel grade and design strength p_y (N/mm^2)														
	S 275					S 355					S 460				
	235	**245**	**255**	**265**	**275**	**315**	**325**	**335**	**345**	**355**	**400**	**410**	**430**	**440**	**460**
15	235	245	255	265	275	315	325	335	345	355	398	408	427	436	455
20	233	242	252	261	271	308	317	326	336	345	387	396	414	424	442
25	226	235	245	254	263	299	308	317	326	335	375	384	402	410	428
30	220	228	237	246	255	289	298	307	315	324	363	371	388	396	413
35	213	221	230	238	247	280	288	296	305	313	349	357	374	382	397
40	206	214	222	230	238	270	278	285	293	301	335	343	358	365	380
42	203	211	219	227	235	266	273	281	288	296	329	337	351	358	373
44	200	208	216	224	231	261	269	276	284	291	323	330	344	351	365
46	197	205	213	220	228	257	264	271	279	286	317	324	337	344	357
48	195	202	209	217	224	253	260	267	274	280	311	317	330	337	349
50	192	199	206	213	220	248	255	262	268	275	304	310	323	329	341
52	189	196	203	210	217	244	250	257	263	270	297	303	315	321	333
54	186	193	199	206	213	239	245	252	258	264	291	296	308	313	324
56	183	189	196	202	209	234	240	246	252	258	284	289	300	305	315
58	179	186	192	199	205	229	235	241	247	252	277	282	292	297	306
60	176	183	189	195	201	225	230	236	241	247	270	274	284	289	298
62	173	179	185	191	197	220	225	230	236	241	262	267	276	280	289
64	170	176	182	188	193	215	220	225	230	235	255	260	268	272	280
66	167	173	178	184	189	210	215	220	224	229	248	252	260	264	271
68	164	169	175	180	185	205	210	214	219	223	241	245	252	256	262
70	161	166	171	176	181	200	204	209	213	217	234	238	244	248	254
72	157	163	168	172	177	195	199	203	207	211	227	231	237	240	246
74	154	159	164	169	173	190	194	198	202	205	220	223	229	232	238
76	151	156	160	165	169	185	189	193	196	200	214	217	222	225	230
78	148	152	157	161	165	180	184	187	191	194	207	210	215	217	222
80	145	149	153	157	161	176	179	182	185	188	201	203	208	210	215
82	142	146	150	154	157	171	174	177	180	183	195	197	201	203	207
84	139	142	146	150	154	167	169	172	175	178	189	191	195	197	201
86	135	139	143	146	150	162	165	168	170	173	183	185	189	190	194
88	132	136	139	143	146	158	160	163	165	168	177	179	183	184	187
90	129	133	136	139	142	153	156	158	161	163	172	173	177	178	181
92	126	130	133	136	139	149	152	154	156	158	166	168	171	173	175
94	124	127	130	133	135	145	147	149	151	153	161	163	166	167	170
96	121	124	127	129	132	141	143	145	147	149	156	158	160	162	164
98	118	121	123	126	129	137	139	141	143	145	151	153	155	157	159
100	115	118	120	123	125	134	135	137	139	140	147	148	151	152	154
102	113	115	118	120	122	130	132	133	135	136	143	144	146	147	149
104	110	112	115	117	119	126	128	130	131	133	138	139	142	142	144
106	107	110	112	114	116	123	125	126	127	129	134	135	137	138	140
108	105	107	109	111	113	120	121	123	124	125	130	131	133	134	136

6) Values of p_c (N/mm²) with $\lambda \geq 110$ for strut curve c															تابع الجدول 4-3 c
λ	Steel grade and design strength p_y (N/mm²)														
	S 275					S 355					S 460				
	235	**245**	**255**	**265**	**275**	**315**	**325**	**335**	**345**	**355**	**400**	**410**	**430**	**440**	**460**
110	102	104	106	108	110	116	118	119	120	122	126	127	129	130	132
112	100	102	104	106	107	113	115	116	117	118	123	124	125	126	128
114	98	100	101	103	105	110	112	113	114	115	119	120	122	123	124
116	95	97	99	101	102	108	109	110	111	112	116	117	118	119	120
118	93	95	97	98	100	105	106	107	108	109	113	114	115	116	117
120	91	93	94	96	97	102	103	104	105	106	110	110	112	112	113
122	89	90	92	93	95	99	100	101	102	103	107	107	109	109	110
124	87	88	90	91	92	97	98	99	100	100	104	104	106	106	107
126	85	86	88	89	90	94	95	96	97	98	101	102	103	103	104
128	83	84	86	87	88	92	93	94	95	95	98	99	100	100	101
130	81	82	84	85	86	90	91	91	92	93	96	96	97	98	99
135	77	78	79	80	81	84	85	86	87	87	90	90	91	92	92
140	72	74	75	76	76	79	80	81	81	82	84	85	85	86	87
145	69	70	71	71	72	75	76	76	77	77	79	80	80	81	81
150	65	66	67	68	68	71	71	72	72	73	75	75	76	76	76
155	62	63	63	64	65	67	67	68	68	69	70	71	71	72	72
160	59	59	60	61	61	63	64	64	65	65	66	67	67	67	68
165	56	56	57	58	58	60	60	61	61	61	63	63	64	64	64
170	53	54	54	55	55	57	57	58	58	58	60	60	60	60	61
175	51	51	52	52	53	54	54	55	55	55	56	57	57	57	58
180	48	49	49	50	50	51	52	52	52	53	54	54	54	54	55
185	46	46	47	47	48	49	49	50	50	50	51	51	52	52	52
190	44	44	45	45	45	47	47	47	47	48	49	49	49	49	49
195	42	42	43	43	43	45	45	45	45	45	46	46	47	47	47
200	40	41	41	41	42	43	43	43	43	43	44	44	45	45	45
210	37	37	38	38	38	39	39	39	40	40	40	40	41	41	41
220	34	34	35	35	35	36	36	36	36	36	37	37	37	37	38
230	31	32	32	32	32	33	33	33	33	34	34	34	34	34	35
240	29	29	30	30	30	30	31	31	31	31	31	31	32	32	32
250	27	27	27	28	28	28	28	28	29	29	29	29	29	29	29
260	25	25	26	26	26	26	26	26	27	27	27	27	27	27	27
270	23	24	24	24	24	24	25	25	25	25	25	25	25	25	25
280	22	22	22	22	22	23	23	23	23	23	23	24	24	24	24
290	21	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22	22	22
300	19	19	20	20	20	20	20	20	20	20	21	21	21	21	21
310	18	18	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	20
320	17	17	17	17	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
330	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
340	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
350	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

7) Values of p_c (N/mm^2) with λ < 110 for strut curve d															الجدول 4-3 d
λ	Steel grade and design strength p_y (N/mm^2)														
	S 275					S 355					S 460				
	235	**245**	**255**	**265**	**275**	**315**	**325**	**335**	**345**	**355**	**400**	**410**	**430**	**440**	**460**
15	235	245	255	265	275	315	325	335	345	355	397	407	425	435	453
20	232	241	250	259	269	305	314	323	332	341	381	390	408	417	434
25	223	231	240	249	257	292	301	309	318	326	365	373	390	398	415
30	213	222	230	238	247	279	287	296	304	312	348	356	372	380	396
35	204	212	220	228	236	267	274	282	290	297	331	339	353	361	375
40	195	203	210	218	225	254	261	268	275	283	314	321	334	341	355
42	192	199	206	214	221	249	256	263	270	277	307	314	327	333	346
44	188	195	202	209	216	244	251	257	264	271	300	306	319	325	337
46	185	192	199	205	212	239	245	252	258	265	293	299	311	317	329
48	181	188	195	201	208	234	240	246	252	259	286	291	303	309	320
50	178	184	191	197	204	228	235	241	247	253	278	284	295	301	311
52	174	181	187	193	199	223	229	235	241	246	271	277	287	292	303
54	171	177	183	189	195	218	224	229	235	240	264	269	279	284	294
56	167	173	179	185	191	213	219	224	229	234	257	262	271	276	285
58	164	170	175	181	187	208	213	218	224	229	250	255	264	268	277
60	161	166	172	177	182	203	208	213	218	223	243	247	256	260	268
62	157	163	168	173	178	198	203	208	212	217	236	240	248	252	260
64	154	159	164	169	174	193	198	202	207	211	229	233	241	245	252
66	150	156	160	165	170	188	193	197	201	205	223	226	234	237	244
68	147	152	157	162	166	184	188	192	196	200	216	220	226	230	236
70	144	149	153	158	162	179	183	187	190	194	210	213	219	222	228
72	141	145	150	154	158	174	178	182	185	189	203	207	213	215	221
74	138	142	146	150	154	170	173	177	180	183	197	200	206	209	214
76	135	139	143	147	151	165	169	172	175	178	191	194	199	202	207
78	132	136	139	143	147	161	164	167	170	173	186	188	193	195	200
80	129	132	136	140	143	156	160	163	165	168	180	182	187	189	194
82	126	129	133	136	140	152	155	158	161	163	175	177	181	183	187
84	123	126	130	133	136	148	151	154	156	159	169	171	176	177	181
86	120	123	127	130	133	144	147	149	152	154	164	166	170	172	175
88	117	120	123	127	129	140	143	145	148	150	159	161	165	167	170
90	114	118	121	123	126	137	139	141	144	146	154	156	160	161	164
92	112	115	118	120	123	133	135	137	139	142	150	152	155	156	159
94	109	112	115	117	120	129	132	134	136	138	145	147	150	152	154
96	107	109	112	115	117	126	128	130	132	134	141	143	146	147	150
98	104	107	109	112	114	123	125	126	128	130	137	138	141	143	145
100	102	104	107	109	111	119	121	123	125	126	133	134	137	138	141
102	99	102	104	106	108	116	118	120	121	123	129	131	133	134	136
104	97	99	102	104	106	113	115	116	118	120	126	127	129	130	132
106	95	97	99	101	103	110	112	113	115	116	122	123	125	126	128
108	93	95	97	99	101	107	109	110	112	113	119	120	122	123	125

8) Values of p_c (N/mm²) with $\lambda \geq 110$ for strut curve d															تابع الجدول 4-3 d
λ	Steel grade and design strength p_y (N/mm²)														
	S 275					S 355					S 460				
	235	**245**	**255**	**265**	**275**	**315**	**325**	**335**	**345**	**355**	**400**	**410**	**430**	**440**	**460**
110	91	93	95	96	98	105	106	108	109	110	115	116	118	119	121
112	88	90	92	94	96	102	103	105	106	107	112	113	115	116	118
114	86	88	90	92	94	99	101	102	103	104	109	110	112	113	114
116	85	86	88	90	91	97	98	99	101	102	106	107	109	110	111
118	83	84	86	88	89	95	96	97	98	99	103	104	106	107	108
120	81	82	84	86	87	92	93	94	95	96	101	101	103	104	105
122	79	81	82	84	85	90	91	92	93	94	98	99	100	101	102
124	77	79	80	82	83	88	89	90	91	92	95	96	98	98	99
126	76	77	78	80	81	86	87	88	89	89	93	94	95	96	97
128	74	75	77	78	79	84	85	85	86	87	91	91	93	93	94
130	72	74	75	76	77	82	83	83	84	85	88	89	90	91	92
135	68	70	71	72	73	77	78	79	79	80	83	84	85	85	86
140	65	66	67	68	69	73	73	74	75	75	78	79	80	80	81
145	62	63	64	65	65	69	69	70	71	71	74	74	75	75	76
150	59	60	60	61	62	65	66	66	67	67	69	70	71	71	72
155	56	57	57	58	59	62	62	63	63	64	66	66	67	67	68
160	53	54	55	55	56	58	59	59	60	60	62	62	63	63	64
165	50	51	52	53	53	55	56	56	57	57	59	59	60	60	61
170	48	49	49	50	51	53	53	54	54	54	56	56	57	57	57
175	46	47	47	48	48	50	51	51	51	52	53	53	54	54	55
180	44	45	45	46	46	48	48	49	49	49	50	51	51	51	52
185	42	43	43	44	44	46	46	46	47	47	48	48	49	49	49
190	40	41	41	42	42	44	44	44	44	45	46	46	46	47	47
195	38	39	39	40	40	42	42	42	42	43	44	44	44	45	45
200	37	37	38	38	39	40	40	40	41	41	42	42	42	43	43
210	34	34	35	35	35	37	37	37	37	37	38	38	39	39	39
220	31	32	32	32	33	34	34	34	34	34	35	35	36	36	36
230	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	32	33	33	33	33
240	27	27	28	28	28	29	29	29	29	29	30	30	30	30	31
250	25	25	26	26	26	27	27	27	27	27	28	28	28	28	28
260	24	24	24	24	24	25	25	25	25	25	26	26	26	26	26
270	22	22	22	23	23	23	23	23	24	24	24	24	24	24	25
280	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22	23	23	23	23	23
290	19	20	20	20	20	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
300	18	18	19	19	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20	20
310	17	17	17	18	18	18	18	18	18	18	19	19	19	19	19
320	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	18	18	18	18	18
330	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17
340	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16	16	16
350	14	14	14	14	14	14	14	15	15	15	15	15	15	15	15

3 - 4 الأطوال الفعّالة Effective lengths

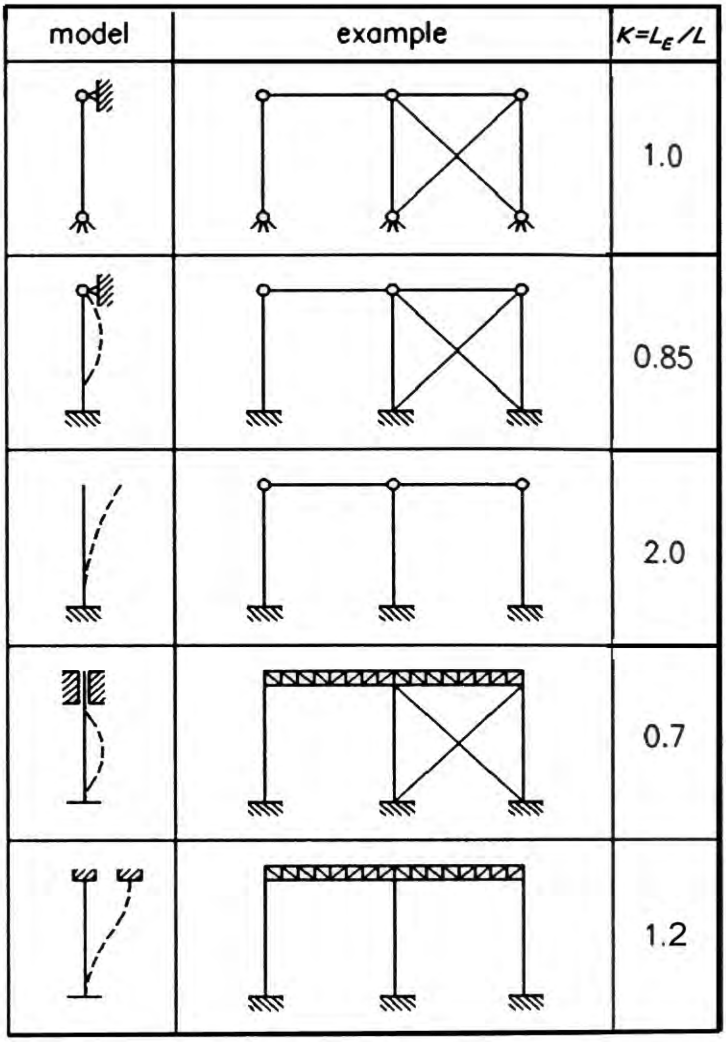
تُبنى المعلومات الأساسية التي تربط طاقة تحمل العمود بنحافته على فكرة العمود المتمفصل من طرفيه حيث لا يمكن لطرف أن ينتقل بالنسبة للطرف الآخر مع حرية الدوران في كلا الطرفين. لكن يوجد للعناصر المضغوطة في المنشآت الحقيقية العديد من شروط الاستناد الأقل تقييداً بالنسبة للانتقالات مع أو بدون حرية في الدوران. يُعالج هذا الموضوع عادةً في التصميم باستخدام فكرة طول العمود المكافئ الذي يمكن أن يُعرَّف على أنه طول عمود مكافئ متمفصل من طرفيه وله طاقة تحمل العمود المدروس ذاتها. لذلك عند تحديد نسبة نحافة عمود نستبدل الطول الحقيقي L بالطول الفعّال L_E .

ويبين الجدول (4-4) الأطوال الفعّالة لبعض الحالات النموذجية من شروط الاستناد وفق الكود BS 5950:

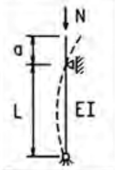
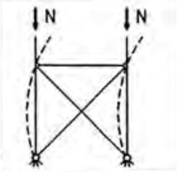
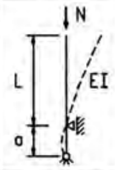
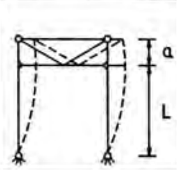
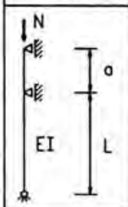
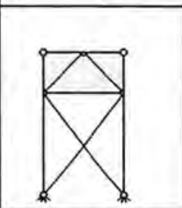
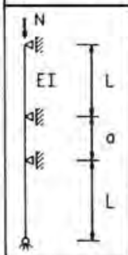
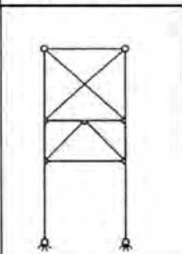
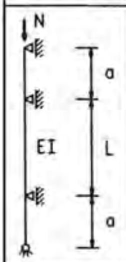
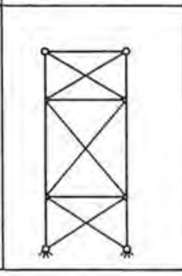
الجدول (4-4): الطول الفعّال L_E للعناصر المضغوطة

شروط الاستناد في الطرفين		الطول الفعّال L_E
مثبت في مكانه في كلا الطرفين	ممنوع من الدوران في كلا الطرفين	*0.7 L*
	ممنوع من الدوران جزئياً في كلا الطرفين	*0.85 L*
	ممنوع من الدوران في طرف واحد	*0.85 L*
	مسموح بالدوران في كلا الطرفين	*1.0 L*
أحد الطرفين ممنوع من الانتقال ومن الدوران	الطرف الآخر مسموح له بالإنتقال وممنوع من الدوران	*1.2 L*
	الطرف الآخر مسموح له بالإنتقال وممنوع من الدوران جزئياً	*1.5 L*
	الطرف الآخر مسموح له بالإنتقال ومسموح له بالدوران	*2.0 L*

ويبين الشكلان (4-2 a,b) النسبة $k = L_E / L$ لبعض الحالات النموذجية من الأعمدة تم اشتقاقها باستخدام نظرية الاستقرار المرن :



الشكل (4-2a) معامل الطول الفعال $k = L_E / L$ لبعض الحالات النموذجية

column	frame	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	a/L
		1.0	1.11	1.24	1.40	1.56	1.74	1.93	2.16	2.31	2.50	2.70	L_E/L
		2.0	2.07	2.13	2.20	2.27	2.34	2.41	2.48	2.55	2.62	2.70	L_E/L
		0.70	0.72	0.74	0.77	0.79	0.81	0.84	0.87	0.91	0.95	1.0	L_E/L
		0.70	0.73	0.76	0.79	0.82	0.85	0.88	0.91	0.94	0.97	1.0	L_E/L
		0.50	0.53	0.57	0.61	0.65	0.70	0.75	0.81	0.87	0.93	1.0	L_E/L

الشكل (4-2b) معامل الطول الفعال $k = L_E / L$ لبعض الحالات النموذجية

1 - 3 – 4 الأطوال الفعّالة لعناصر الإطارات ذات العقد الصلبة

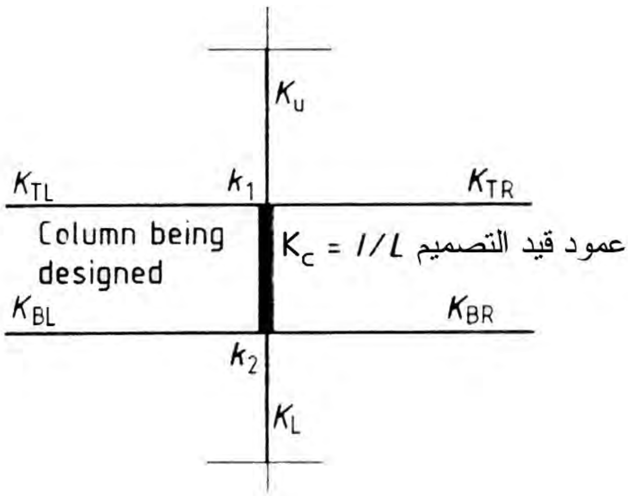
من المفيد جداً عند تحديد الطول الفعال لعناصر الإطارات ذات العقد الصلبة استخدام فكرة الانزياح الجانبي, حيث يعد العنصر ممنوعاً من الانزياح الجانبي عندما لا ينتقل أحد طرفيه بالنسبة للطرف الآخر، ويعد مسموحاً له الانزياح الجانبي عندما يكون مسموحاً لأحد طرفيه الانتقال بالنسبة للطرف الآخر. ففي الحالة الأولى لن يزيد الطول الفعال عن الطول الهندسي للعنصر، أما في الحالة الثانية فيكون الحد الأدنى للطول الفعال مساوياً للطول الهندسي ويقترب من اللانهاية عندما يكون العمود متمفصلاً عند القاعدة ومسموحاً له بالدوران في أعلاه.

إذاً يتعلق الطول الفعال للعناصر المضغوطة في الإطارات ذات العقد الصلبة بدرجة التقييد التي تؤمنها العناصر المتصلة بالعمود. أي أن هناك تأثيراً متبادلاً بين كل عناصر الإطار لأن المسألة هي مسألة تحنيب الإطار ككل وليس عنصراً محدداً بذاته. ولكن من أجل التصميم يتم تبسيط المسألة ويؤخذ إطار محدود كالمبين في الشكل (4-3). ويتم الحصول على نسبة الطول الفعال L_E / L من المخططين المبينين في الشكلين (4-4 a,b) باستخدام معاملي درجة التقيد k_1 و k_2 الذين يحددان وفق ما يلي:

$$k_1 = \frac{K_c + K_u}{K_c + K_u + K_{TL} + K_{TR}} \quad , \quad k_2 = \frac{K_c + K_L}{K_c + K_L + K_{BL} + K_{BR}}$$

K_L و K_U تساوي I / L لكل من العمودين الأسفل والأعلى مباشرة من العمود المدروس

K_{BR} و K_{BL} و K_{TR} و K_{TL} تساوي نسبة من I / L للجوائز المتصلة مباشرة بالعمود المدروس



الشكل (3-4) معاملي التقييد للإطار المحدود

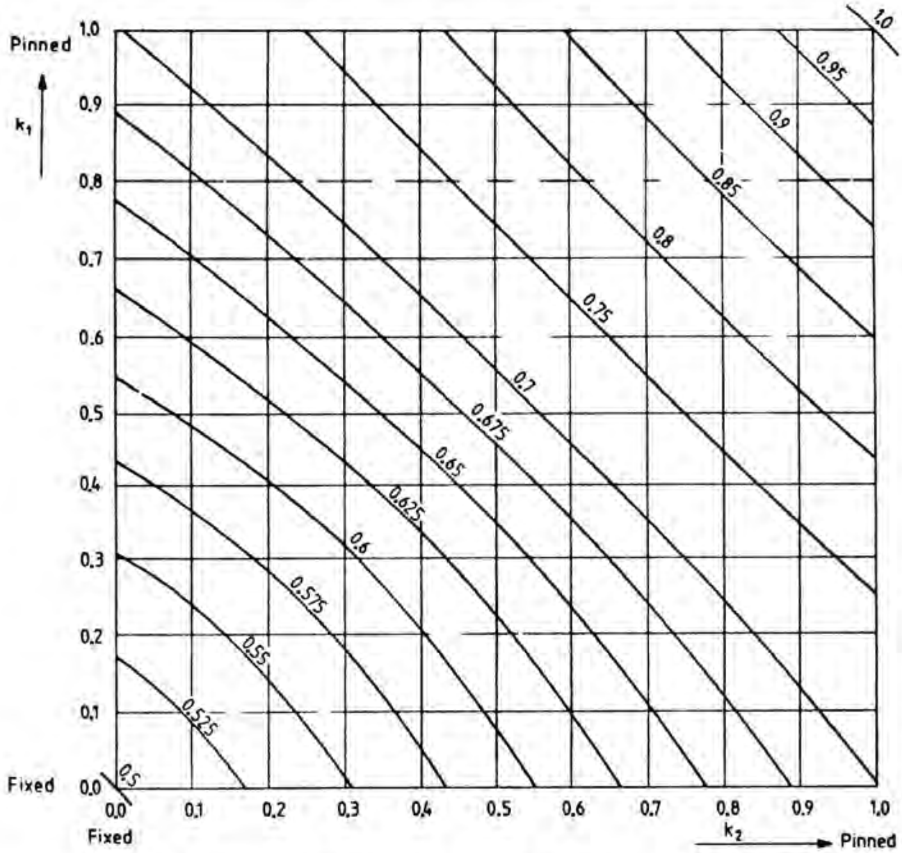
تؤخذ صلابة العنصر غير المتصل بشكل صلب إلى العمود مساوية صفر. وتؤخذ صلابة الجائز K_B الساند مباشرة لبلاطة خرسانية مساوية I/L حيث I عزم عطالة الجائز. أما في الحالات التي لا تسند فيها الجوائز بلاطات خرسانية فتؤخذ صلابتها النسبية كمايلي :

$K_B = 0.5\,I/L$ في الإطارات الممنوعة من الانزياح الجانبي.

$K_B = 1.5\,I/L$ في الإطارات غير الممنوعة من الانزياح الجانبي.

عند تحليل الإطارات يجب أن تؤخذ الصلابات التي تؤمنها القواعد في الاتجاه المدروس. وفي حال عدم توفر معلومات تفصيلية تؤخذ صلابة القاعدة كما يلي:

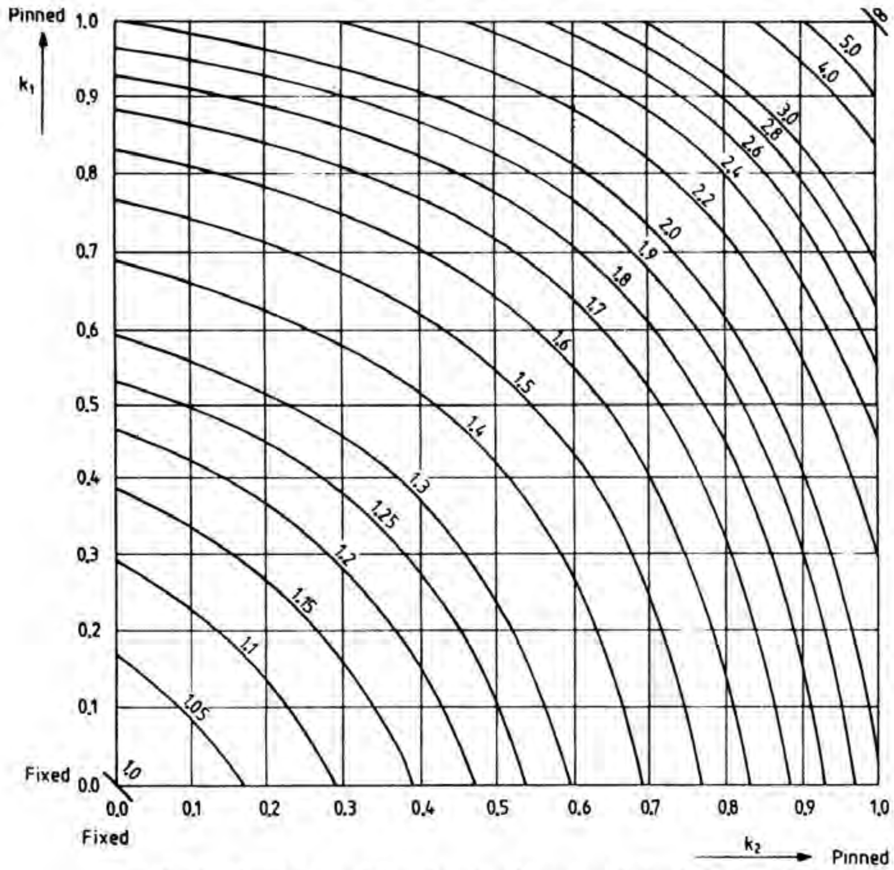
* مساوية لصلابة العمود عندما يكون العمود متصلاً بشكل صلب إلى أساس مناسب.
* مساوية 10 % من صلابة العمود إذا كان اتصال العمود بأساسه إنشائياً.
* مساوية الصفر عندما يكون اتصال العمود بالأساس مفصلياً.



نسبة الطول الفعال L_E/L لعمود من إطار ذي عقد صلبة ممنوع من الانزياح الجانبي

Effective length ratio L_E/L for a column in arigid-jointed frame braced against sidesway

الشكل (4-4a) نسبة الأطوال الفعّالة L_E / L لأعمدة الإطارات ذات العقد الصلبة



نسبة الطول الفعال L_E/L لعمود من إطار ذي عقد صلبة مسموح له بالانزياح الجانبي

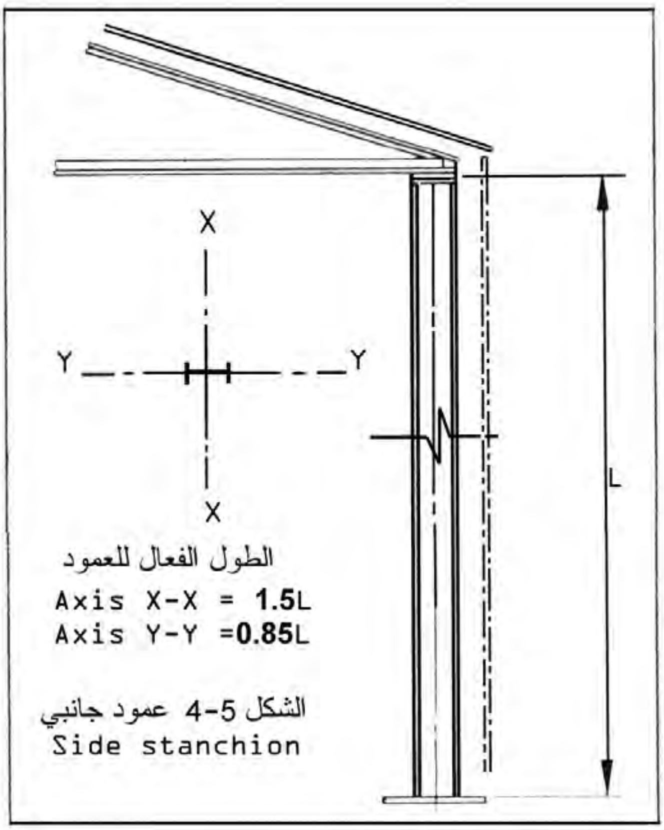
Effective length ratio L_E/L for a column in a rigid-jointed frame with unrestricted sidesway

الشكل (4-4b) نسبة الأطوال الفعّالة L_E / L لأعمدة الإطارات ذات العقد الصلبة

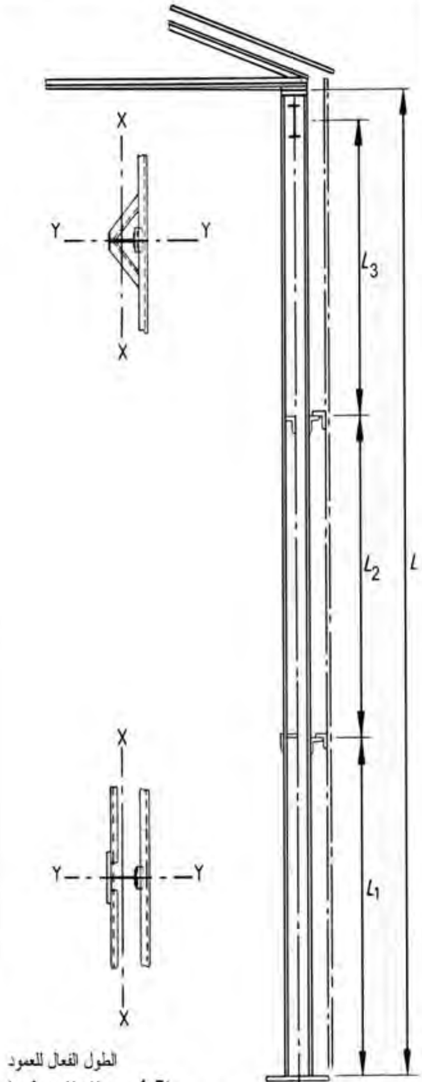
2 - 3 – 4 الأطوال الفعّالة لأعمدة المنشآت وحيدة الطابق

يحدد الطول الفعال للأعمدة في المنشآت ذات الطابق الواحد كما هو مبين في الأشكال (4-5-9) شريطة تحقق ما يلي:

* تعمل الأعمدة في مستوي الشكل كأظفار مرتبطة ببعضها بالجوائز الشبكية المكونة للسقف. وعليه فإن الطرف العلوي للعمود غير مقيد في موقعه في هذا المستوي وغير ممنوع من الدوران أيضاً.
* في المستوي العمودي على مستوي الشكل يعد رأس العمود مقيداً في موضعه تماماً بواسطة عنصر يصل رؤوس الأعمدة مع بعضها إلى فتحة مثبتة بشبكة تربيط أو إلى واسطة تدعيم مناسبة أخرى. ويُقيد العمود أيضاً في موقعه عند الجائز الحامل للرافعة.
* تُعد قاعدة العمود مثبتة في موقعها بشكل فعّال وممنوعة من الدوران في كلا الاتجاهين.



الشكل 5-4 عمود جانبي
Side stanchion



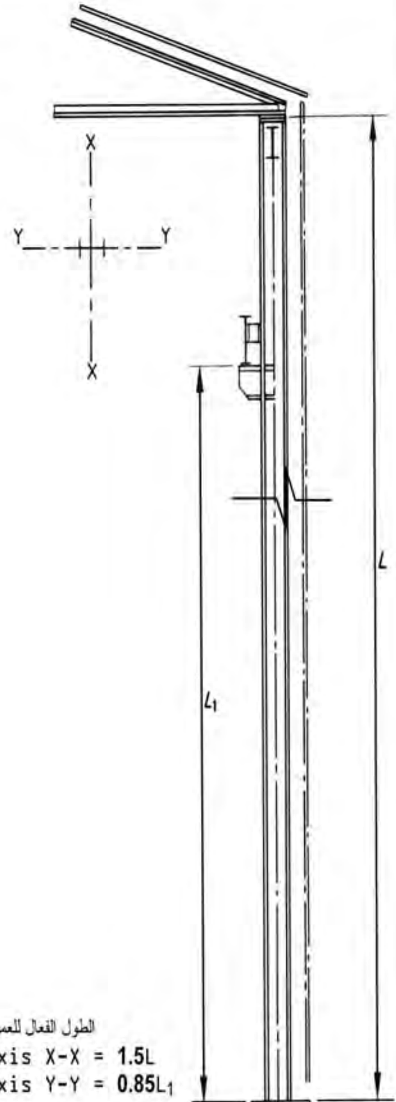
الطول الفعال للعمود

Axis X-X = **1.5**L

Axis Y-Y = **0.85**L_1 ,**1.0**L_2 or **1.0**L_3 أيها أكبر

الشكل 4-6 عمود جانبي مع قيود

Side stanchion with restraints



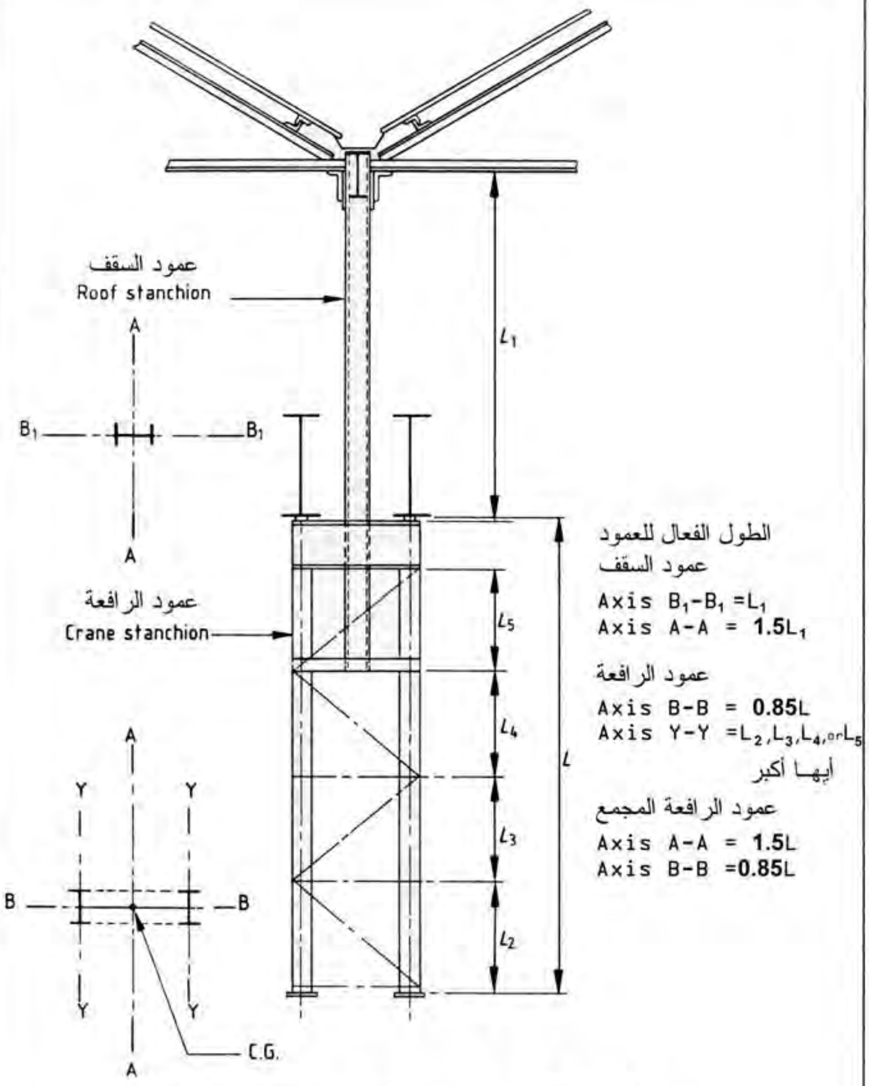
الطول الفعال للعمود

Axis X-X = **1.5**L

Axis Y-Y = **0.85**L_1

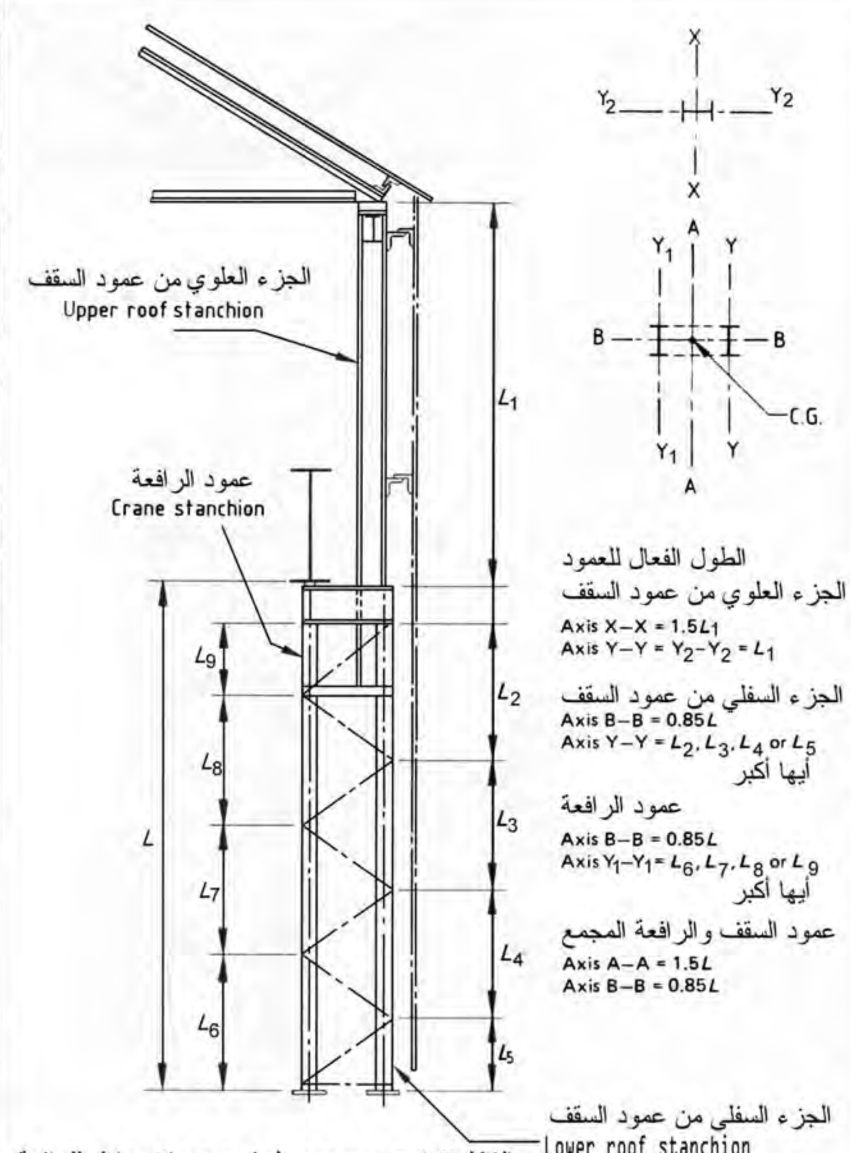
الشكل **4-7** عمود جانبي مع جائز حامل للرافعة

Simple side stanchion with crane gantry



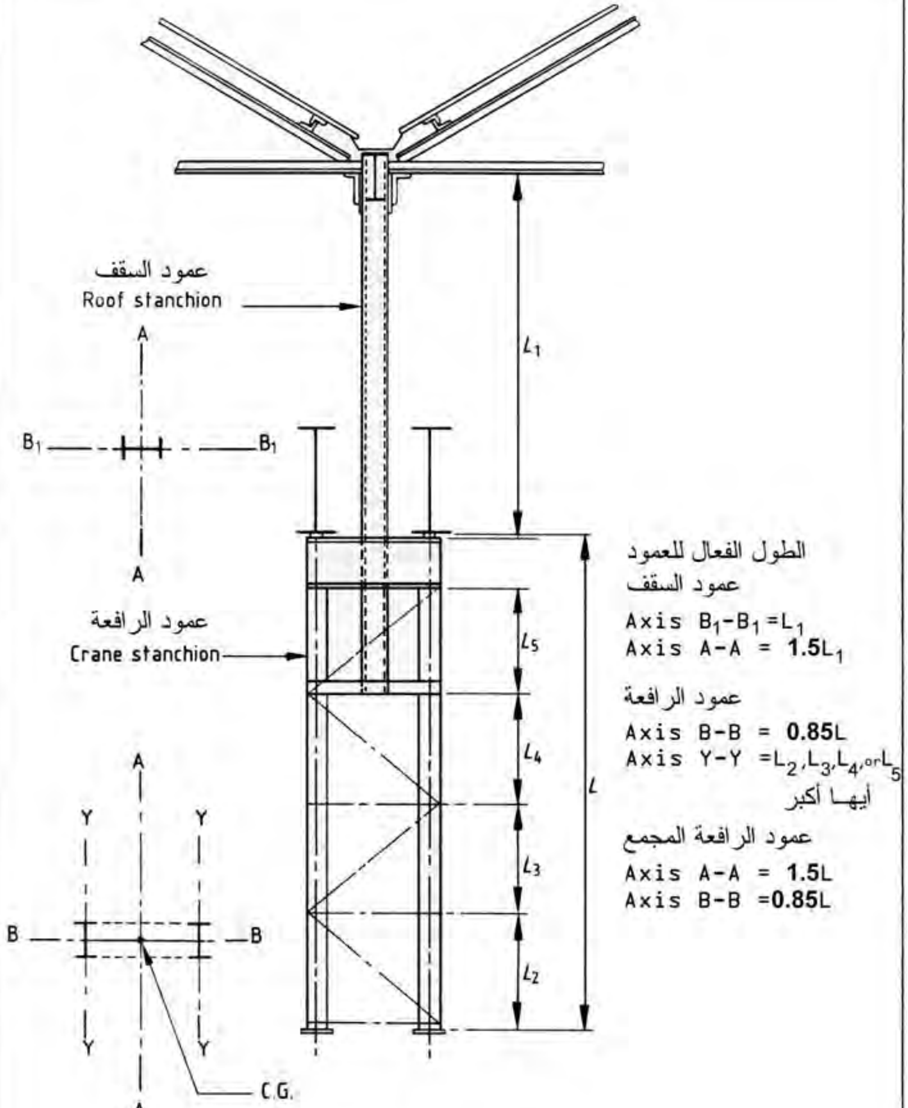
الشكل 4-9 عمود مجمع وسطي مع جائز حامل للرافعة

Compound valley stanchion with crane gantry



الشكل 8-4 عمود مجمع طرفي مع جائز حامل للرافعة

Compound side stanchion with crane gantry

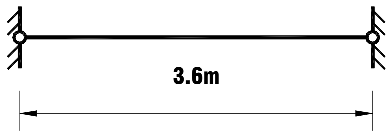


الشكل 9-4 عمود مجمع وسطي مع جائز حامل للرافعة

Compound valley stanchion with crane gantry

مثال: (4-1)

أوجد قوة تحمل العمود المبين في الشكل أدناه على الضغط المحوري، علماً أنه يتكون من مقطع 203 x 203 x 52 UC ماركة فولاذه S275 وأن طرفي العمود ممسوكان في موقعهما وحران في الدوران

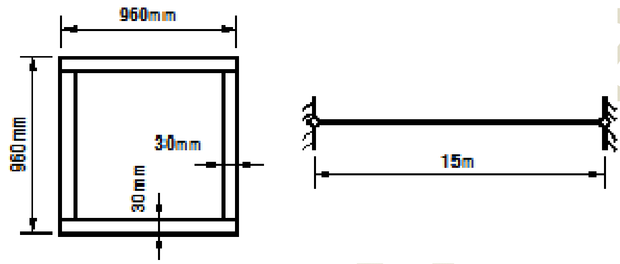


<u>الحــل:</u>

الحل	المرجع
* الطول الفعّال للعمود $L_E = 0.1\,L = 3.6m$	الجدول (4-4)
* من جداول خواص مقاطع العناصر الفولاذية نجد: $t = 7.2mm$, $B = 204.3\,mm$, $d = 160.8\,mm$, $T = 11\,mm$ $A = 66.4\,cm^2$, $b/T = 8.17$, $d/t = 20.4$, $r_y = 5.16\,cm$	
* نسبة النحافة $\lambda = L_E / r_y = 360/5.16 = 70$	
* بما أن السماكة $T < 16mm$ فإن: $p_y = 275 \;\; N/mm^2$ و $\varepsilon = (275/p_y)^{1/2} = 1.0$	الجدول (2-1)
* إن المقطع ليس نحيفاً لأن : $b/T = 8.17 < 15\varepsilon = 15$ و $d/t = 20.4 < 40\varepsilon = 40$	الجدول (2-2)
* بما أن التحنيب سيتم حول المحور الضعيف للمقطع وباستخدام الجدول (4-2) نجد أنه لتحديد مقاومة الضغط p_c يجب أن نستخدم الجدول (4-3c) مع p_y و λ فنجد: $p_c = 181 \;\; N/mm^2$	الجدول (4-3c)
* وعليه فتحسب طاقة تحمل المقطع وفق العلاقة $P_c = A_g\, p_c = 66.4 \times 100 \times 181 \times 10^{-3} = 1201 \;\; kN$	العلاقة (4-1)

مثال: (4-2)

أوجد قوة تحمل العمود المبين في الشكل أدناه على الضغط المحوري، علماً أن مقطعه العرضي يتكون من مقطع صندوقي مشكل باللحام من صفائح من الفولاذ ماركته S355 وأن طرفي العمود ممسوكان في موضعهما وحرّان في الدوران



الحــــل:

الجدول (4-4)

* الطول الفعّال للعمود $L_E = 1.0\, L = 15\, m$
* مساحة مقطع العمود $A_g = 2 \text{ x } 30\,(960 + 900) = 111600\, mm^2$

عزم عطالة المقطع

$$I = \left(960 \text{ x } 960^3 - 900 \text{ x } 900^3\right)/12 = 1.61 \text{ x } 10^{10}\, mm^4$$

* نصف قطر العطالة $r = \left(1.61 \text{ x } 10^{10} / 111600\right)^{1/2} = 380\, mm$
* نسبة النحافة $\lambda = L_E/\text{r} = 15000 / 380 = 39.5$

الجدول (2-1)

* بما أن السماكة $T = 30 > 16\, mm$ فإن $p_y = 345\, N/mm^2$

و $\varepsilon = \left(275 / p_y\right)^{1/2} = 0.9$

* المقطع ليس نحيف لأن

الجدول (2-2)

$$b/t = 900/30 = 30 \;< 40\,\varepsilon = 40 \text{ x } 0.9 = 36$$

$$d/t = 900/30 = 30 \;< 40\,\varepsilon = 40 \text{ x } 0.9 = 36$$

* ونظراً لأن المقطع مشكل باللحام لا بد من تخفيض المقاومة التصميمية بـ $20\, N/mm^2$ وعليه تحسب المقاومة المخفضة كما يلي:

$\bar{p}_y = 345 - 20 = 325\ N/mm^2$

* بالعودة إلى الجدول (4-2) يتبين أنه لتحديد مقاومة الضغط p_c لا بد من استخدام الجدول (4-3b) مع نسبة النحافة والمقاومة التصميمية المخفضة فنجد:

الجدول (4-3b)

$p_c = 293\ N/mm^2$

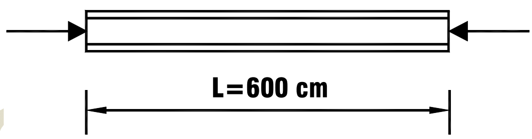
* وعليه تحسب قوة تحمل المقطع وفق العلاقة:

العلاقة (4-1)

$P_c = A_g\ p_c = 111600 \times 293 \times 10^{-3} = 32699\ kN$

مثال: (4-3)

أوجد قوة تحمل العمود المبين في الشكل أدناه على الضغط المحوري، علماً أنه يتكون من مقطع 254 x 254 x 89 UC وأن طرفي العمود ممسوكان في موقعهما وحران في الدوران وأنه مصنوع من فولاذ ماركته S275 .



<u>الحـــل:</u>

* من جداول خواص مقاطع العناصر الفولاذية نجد :

$B = 255.9\ mm\ ,\ d = 200.3\ mm\ ,\ T = 17.3\ mm$

$t = 10.5\ mm\ ,\ r_x = 11.2\ cm\ , r_y = 6.52\ ,\ A = 114\ cm^2$

* الطول الفعّال للعمود : $L_{Ex} = L_{Ey} = 1.0L = 6000\ mm$ — الجدول (4-4)

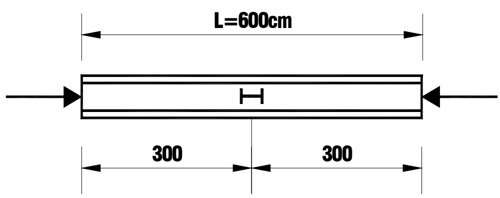
* بما أن : $T = 17.3\ mm$ فإن $p_y = 265\ N/mm^2$ — الجدول (2-1)

و $\varepsilon = (275/p_y)^{1/2} = 1.02$

	* نسبة النحافة: $\lambda_x = L_{Ex} / r_x = 600/11.2 = 53.6$ $\lambda_y = L_{Ey} / r_y = 600/6.52 = 92$
الجدول (2-2)	* المقطع ليس نحيفاً لأن: $b/T = 255.9 \text{ x } 0.5/17.3 = 7.4 < 15\,\varepsilon = 15 \text{ x } 1.02 = 15.3$ $d/t = 200.3/10.5 = 19.1 < 40\,\varepsilon = 40 \text{ x } 1.02 = 40.8$
	* بالعودة إلى الجدول (4-2) نجد أنه لتحديد مقاومة الضغط p_{cx} حول المحور x يجب أن نستخدم الجدول (4-3b) مع p_y و λ_x فنجد:
الجدول (4-3b)	$p_{cx} = 223 \;\; N/mm^2$
	* بالعودة إلى الجدول (4-2) نجد أنه لتحديد مقاومة الضغط p_{cy} حول المحور y يجب أن نستخدم الجدول (4-3c) مع p_y و λ_y فنجد:
الجدول (4-3c)	$p_{cy} = 136 \;\; N/mm^2$
	* إذاً: $p_c = p_{cy} = 136 \;\; N/mm^2$ وعليه فإن قوة تحمل العمود تحسب كما يلي:
العلاقة (4-1)	$P_c = A_g\, p_c = 114 \text{ x } 100 \text{ x } 136 \text{ x } 10^{-3} = 1550\, kN$

مثال: (4-4)

أوجد قوة تحمل العمود المدروس في المثال (4-3) على الضغط المحوري وذلك بإضافة قيد لانتقاله الموازي للمحور x في منتصف مجازه:



	<u>الحـــل:</u>
	* بينا في المثال (3-4) بأن المقطع ليس نحيفاً
	* الطول الفعّال للعمود : $L_{Ex} = 1.0\, L = 600\, cm$
	$L_{Ey} = 1.0\left(L/2\right) = 300\, cm$
	* نسبة نحافته : $\lambda_x = L_{Ex}/r_x = 53.6$
	$\lambda_y = L_{Ey}/r_y = 46$
	* كما بينا في المثال (3-4) فإن $p_{cx} = 223\ N/mm^2$
	* بالعودة إلى الجدول (2-4) نجد أنه لتحديد مقاومة الضغط p_{cy} حول المحور y يجب أن نستخدم الجدول (4-3c) مع p_y و λ_y فنجد:
الجدول (4-3c)	$p_{cy} = 220\ N/mm^2$
	* إذاً : $p_c = p_{cy} = 220\ N/mm^2$ وعليـه فـإن قـوة تحمـل العمـود تحسب كما يلي:
العلاقة (4-1)	$P_c = A_g\, p_c = 114 \text{ x } 100 \text{ x } 220 \text{ x } 10^{-3} = 2508\, kN$

الفصل الخامس

تصميم العناصر الخاضعة للإنعطاف
Design of Beams

5–1 مقدمـة

تعد الجوائز من أكثر العناصر الأساسية في الهندسة الإنشائية حيث تقوم بنقل الأحمال من الأسقف إلى الأعمدة، وتستخدم المقاطع الفولاذية المدرفلة أو المشكّلة على البارد أو المشكّلة باللحام كجوائز، ويتم اختيار الأنسب منها بناءً على شدة الأحمال المنقولة.

يجب تحقيق كثير من الاشتراطات، إضافة إلى عزم الانعطاف، عند تصميم الجوائز مثل تصنيف المقطع لأن التحنيب الموضعي يلعب دوراً أكبر مما هو عليه الحال في الأعمدة، حيث تخضع عناصر المقطع المختلفة إلى أنماط مختلفة من الإجهادات. فمثلاً يخضع جناحا مقطع على شكل I في المرحلة المرنة إلى شد أو ضغط منتظم تقريباً، أما جسده فيتعرّض إلى تدرّج في الإجهادات. وكذلك يجب التركيز على الأشكال المختلفة لعدم استقرار الجائز ككل أو أجزاء منه كتلك المعرضة إلى تركيز عال في الإجهادات مثل جسد المقطع عند المساند.

يتحكم واحد أو أكثر من الشروط الحدّية المبينة في الجدول (5-1) بتصميم الجوائز، ولكن عملياً بعضها فقط يحتاج إلى تحقيق كامل.

من الجدول (5-1) يتضح أنه يجب تحقيق ما يلي:

- المقاطع الحرجة على العزم الأعظمي والقصّ المرافق أو على القصّ الأعظمي والعزم المرافق.
- مقاومة المقطع على تحنيب الفتل الجانبي ما لم تكن الأجنحة المضغوطة مقيّدة جانبياً تماماً.
- التحنيب الموضعي من خلال تصنيف المقطع كما ورد في الفقرة (2-3).

– تحمّل وتحنيب جسد المقطع عندما يتم تطبيق الأحمال أو ردود الأفعال من خلال الجناح إلى الجسد.
– حالة حدّ السهوم كما ورد في الفقرة (2-1).

الجدول (5-1) الشروط الحدّية لتصميم الجوائز	
الحالات الحدّية القصوى	الحالات الحدّية لمرحلة الاستثمار
* التحمل على الانعطاف M_c	* السهوم نتيجة العزم
* التحمل على القصّ P_v	* الفتل نتيجة عزم الفتل
* تحنيب الفتل الجانبي M_b	* الاهتزاز
* تحنيب الجسد P_w	
* تحمّل الجسد P_{cw}	
* التأثير المتبادل بين عزم الانعطاف والقصّ.	
* طاقة تحمّل الفتل M_t	
* التأثير المتبادل بين الانعطاف والفتل.	

يجب أن تؤخذ المقاومة التصميمية p_y كما وردت في الجدول (2-1) مع أخذ التخفيض في المقطع العرضي الخاص بالمقاطع النحيفة، ولا تخفّض p_y بمقدار $20\,N/mm^2$ الوارد في الفقرة (2-4) والخاص بالعناصر المضغوطة المكونة باللحام.

5-2 طاقة تحمّل القصّ Shear capacity

تحدد طاقة تحمّل المقطع للقصّ وفق العلاقة التالية:

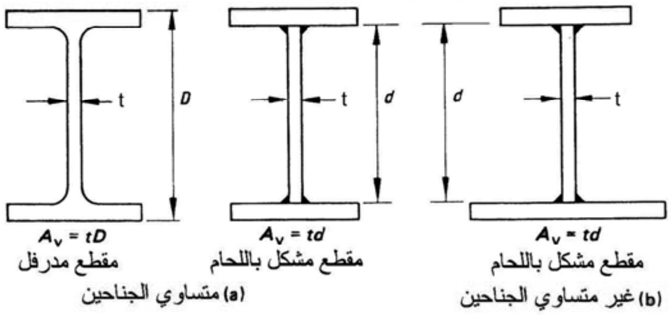
$$P_v = 0.6\,p_y A_v \qquad (5\text{-}1)$$

تحدد مساحة القصّ الفعّالة A_v كما في الشكل (5-1) حسب نوع المقطع مساوية إلى ما يلي:

* tD للمقاطع المدرفلة I و H و T ومجراية عندما يكون الحمل موازياً للجسد
* $2td$ للمقاطع الملحومة الصندوقية عندما يكون الحمل موازياً للجسد
* td للمقاطع I الملحومة عندما يكون الحمل موازي للجسد
* $0.9A$ للقضبان الصلبة والصفائح.
* $A\left[\mathrm{D}/\left(\mathrm{D}+\mathrm{B}\right)\right]$ للمقاطع المفرغة الصندوقية عندما يكون الحمل موازياً للجسد
* $0.6A$ للمقاطع الدائرية المفرغة

حيث: t سماكة الجسد، B عرض الجناح، D ارتفاع المقطع الكلي، d ارتفاع الجسد، A مساحة المقطع.

ويجب تحقيق جسد المقطع على التحنيب الناتج عن القصّ عندما يكون $d/t > 70\,\varepsilon$ للمقاطع المدرفلة و $d/t > 62\,\varepsilon$ للمقاطع المشكلة باللحام كما سيرد في الفصل السادس.



الشكل (5-1) مساحة القص الفعّالة لمقاطع نموذجية

5-3 طاقة تحمّل العزم Moment capacity

5-3-1 طاقة تحمّل العزم مع قصّ منخفض

عندما تكون قوة القاصّ المطبقة F_v أقل أو تساوي 60 % من طاقة تحمّل القصّ $\left(F_v \leq 0.6\,P_v\right)$ فإن طاقة تحمّل العزم تحدد وفق تصنيف المقطع كما يلي:

- للمقاطع اللدنة أو المدمجة

$$M_c = p_y\,S \qquad (5\text{-}2)$$

- للمقاطع نصف المدمجة

$$M_c = p_y\, Z \quad \text{or} \quad M_c = p_y\, S_{\text{eff}} \qquad (5\text{-}3)$$

- للمقاطع النحيفة

$$M_c = p_y\, Z_{\text{eff}} \qquad (5\text{-}4)$$

حيث :

p_y المقاومة التصميمية وتحدد من الجدول (1-2).

S و Z معاملي المقطع اللدن والمرن حول المحور المدروس على الترتيب.

S_{eff} و Z_{eff} معاملي المقطع الفعال اللدن والمرن على الترتيب.

5-3-2 طاقة تحمّل العزم مع قص عالٍ

عندما تزيد القوة القاصّة على 60% من طاقة تحمّل القص $\left(F_v > 0.6 P_v\right)$ فتحدد طاقة تحمّل العزم وفق تصنيف المقطع كما يلي:

- للمقاطع اللدنة أو المدمجة:

$$M_c = p_y \left(S - \rho S_v\right) \qquad (5\text{-}5)$$

- للمقاطع نصف المدمجة:

$$M_c = p_y \left(Z - \rho \frac{S_v}{1.5}\right) \ \text{or} \ M_c = p_y \left(S_{\text{eff}} - \rho S_v\right) \qquad (5\text{-}6)$$

- للمقاطع النحيفة:

$$M_c = p_y \left(Z_{eff} - \rho \frac{S_v}{1.5}\right) \qquad (5\text{-}7)$$

حيث: $\rho = \left[2(F_v / P_v) - 1\right]^2$

S_v تساوي معامل المقطع اللدن للمساحة التي تقاوم القص A_v عندما يكون جناحا المقطع متساويين.

S_v للمقطع ذي الجناحين غير المتساويين.تحدد وفق العلاقة التالية:

$$S_v = S - S_f$$

S_f تساوي معامل المقطع اللدن للأجزاء المتبقية من المقطع الفعّال بعد حذف المنطقة المقاومة للقص.

في كل الأحوال يجب ألاّ تزيد قيمة M_c على $1.5 p_y Z$ عموماً وألاّ تزيد على $1.2 p_y Z$ في حالة الجائز الظفري أو المستند استناداً بسيطاً

5-4 **تحنيب الفتل الجانبي** Lateral torsional buckling

تتعرض العناصر الإنشائية النحيفة المحمّلة بأحمال في مستويها الصلب إلى عدم استقرار جانبي مع فتل في المقطع العرضي مما يجعلها تخرج من مستوي الأحمال المطبّقة وتنتقل جانبياً مع فتل المقطع حول محوره كما في الشكل (5-2a) حيث يتعرض الجائز الظفري إلى حمل ميت عند رأسه. ويبين الشكل (5-2b) أيضاً جائزاً بسيطاً حدث له تحنيب فتل جانبي بعد أن تم تحميلة بعزم انحناء منتظم على كامل طوله. لا يحدث هذا النوع من التحنيب في الحالات التالية:

- عندما يتعرض الجائز إلى أحمال تنتج عزوماً حول المحور الثانوي للمقطع.
- عندما يزود جناح الجائز المضغوط بقيود جانبية مستمرة أو متقاربة.
- عندما يكون مقطع الجائز دائرياً أو مربعاً مصمتاً أو مفرغاً CHS أو (square RHS).
- عندما يكون مقطع الجائز مستطيلاً مفرغاً RHS مالم تتجاوز نسبة نحافته L_E/r_y على القيمة المحددة في الجدول (5-2)

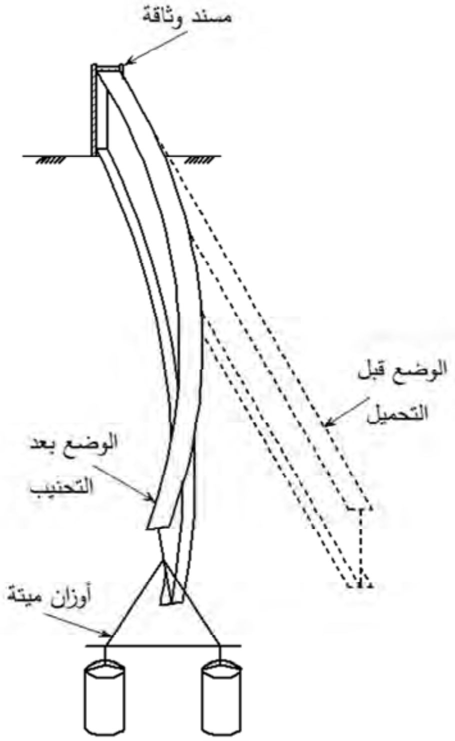
الجدول 2-5 القيمه الحدية لـ L_E/r_y للمقاطع المستطيلة المفرغة RHS

القيمه الحدية لـ L_E/r_y	النسبة D/B	القيمه الحدية لـ L_E/r_y	النسبة D/B	القيمه الحدية لـ L_E/r_y	النسبة D/B
340 x (275/py)	2.0	515 x (275/py)	1.5	770 x (275/py)	1.25
275 x (275/py)	2.5	435 x (275/py)	1.67	670 x (275/py)	1.33
225 x (275/py)	3.0	410 x (275/py)	1.75	580 x (275/py)	1.4
170 x (275/py)	4.0	395 x (275/py)	1.8	550 x (275/py)	1.44

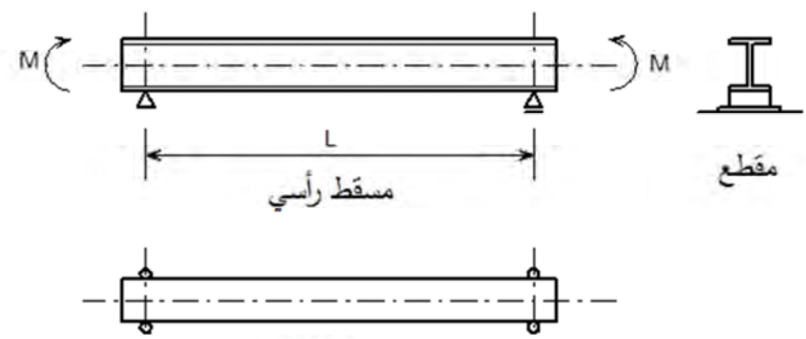
B و D عرض المقطع وارتفاعه على الترتيب، p_y المقاومة التصميمية

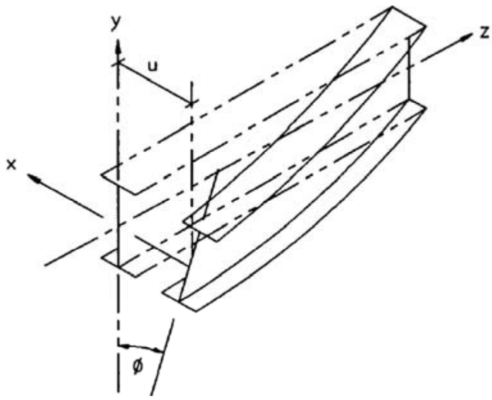
L_E الطول الفعال لحساب تحنيب الفتل الجانبي

r_y نصف قطر عطالة المقطع حول المحور الضعيف



الشكل (5-2a) تحنيب الفتل الجانبي لجائز ظفري





الشكل (5-2b) تحنيب الفتل الجانبي لجائز بسيط

5-4-1 القيود الجانبية Lateral restraints

يعد الجناح المضغوط مقيد جانبياً إذا توفر له مسند جانبي ذو قوة تحمّل وصلابة كافيتين لمنع حركته جانبياً بالنسبة لمساند الجائز كبلاطة مستندة على الجناح مباشرةً. ويجب أن يكون المسند الجانبي قادراً على تحمّل قوة قدرها % 2.5 من قوة الضغط العظمى في الجناح الناجمة عن الأحمال المصعّدة على أن يعد هذا الحمل موزع بانتظام على طول الجناح وواقعاً في مستويه. ويجب أن تكون مجمل إنشاءات السقف قادرة على تحمل هذا الحمل الجانبي.

عندما تستدعي الحاجة إلى قيدين جانبيين أو أكثر موزّعة على مسافات على طول مجاز الجائز، يجب أن تكون هذه القيود قادرة على تحمّل قوة لا تقل عن % 2.5 من قوة الضغط العظمى المصعّدة في الجناح، وتقسم هذه القوة بين القيود الجانبية بشكل متناسب مع المسافات بين هذه القيود. ويجب أن يتم وصل القيود الجانبية إما إلى جملة تربيط تقوم بدورها بنقل أحمال القيود إلى نقاط استناد الجائز الفعّالة أو إلى جزء جاسئ من المنشئ يقوم بالدور ذاته. ولا يكفي فقط وصل الجوائز المتوازية والتي بحاجة إلى قيود جانبية ببعضها لأن ذلك من شأنه أن يجعلها معتمدة على بعضها البعض.

عندما تستدعي الحاجة إلى ثلاثة قيود جانبية أو أكثر عند مسافات على طول مجاز الجائز فيجب أن يتحمل كل قيد قوة لا تقل عن 1% من قوة الضغط العظمى المصعّدة في الجناح. وعندها يجب أن تتحمل جملة التربيط القوى المنقولة إليها من القيود الجانبية مطبّقة واحدة في كل مرة، أو أن تتحمل القوى الناتجة عن كل القيود الجانبية المنصوص عنها في الفقرة السابقة.

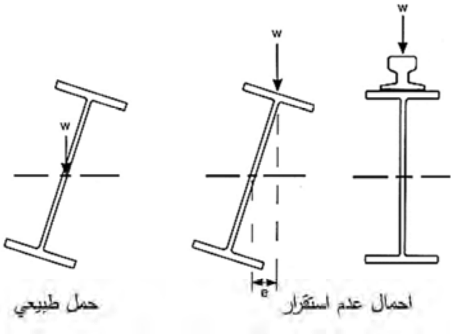
لا يتوجب عادة تحقيق الجوائز الثانوية المقيدة بصفائح التغطية على القوى الناتجة عن تقييد الوتر العلوي للجائز الشبكي أو الإطار الحامل للسقف شريطة وجود جملة تربيط ذات صلابة كافية في مستوى السقف أو أن تكون صفائح التغطية قادرة على العمل كلوح صلب (diaphragm) .

5-4-2 قيود الفتل Tortional restraints

يعد الجائز مقيداً في أية نقطة من طوله ضد الفتل حول محوره الطولي عندما يكون كل من جناحيه مقيداً في موضعه بشكل فعّال بالنسبة للجناح الآخر بواسطة خارجية. ويمكن تأمين قيود الفتل في أية نقطة بواسطة لوح (diaphragm) مناسب أو جملة تربيط تصل بين جوائز متشابهة، ويمكن تأمين قيود فتل عند نقاط الاستناد عن طريق مدعّمة التحميل (bearing stiffener). ويجب أن يكون قيد الفتل قادراً على تحمّل عزم فتل ناتج عن قوة قدرها 1% من القوة العظمى المصعّدة في الجناح المضغوط مضروبة بالمسافة بين مركزي ثقلي الجناحين.

5-4-3 أحمال عدم الاستقرار Destabilizing loads

يعد الحمل مسبباً لعدم استقرار الجائز إذا كان مطبّقاً على الجناح العلوي، وكان الحمل والجناح حرّين بالانتقال جانبياً بالنسبة لمركز ثقل الجائز كما في الشكل (5-3)



الشكل (5-3) الأحمال التي تساعد في عدم الإستقرار

5-4-4 الأطوال الفعّالة للجوائز Effective lengths of beams

يحدد الطول الفعّال للجائز L_E عند دراسة تحنيب الفتل الجانبي كما يلي :

1) يحدد الطول الفعّال L_E للجوائز المقيدة جانبياً عند أطرافها فقط من الجدول (5-3) مع اعتبار L مساوية لمجاز الجائز. وإذا اختلفت شروط التقييد في كل من الطرفين فيؤخذ متوسط L_E

2) عندما يكون الجائز مزوداً بقيود جانبية فعّالة عند مسافات على طوله فيؤخذ الطول الفعّال L_E مساوياً $1.0\ L$ في شروط التحميل العادية ومساوياً $1.2\ L$ عندما يساعد التحميل في عدم استقرار الجائز حيث تساوي L المسافة بين القيود الجانبية.

3) يجب أخذ شروط التقييد عند المسند بالحسبان عند دراسة جزء الجائز الواقع بين طرفه وأول قيد جانبي. وعندها يؤخذ الطول الفعّال لهذا الجزء كمتوسط القيمتين المشتقتين وفق البند (2) السابق ووفق الجدول (5-3) مع أخذ شروط التقييد عند المسند بالحسبان.

5-4-5 الأطوال الفعّالة للأظفار Effevtive lengths of cantilevers

1) عندما يكون الجائز الظفري مزوداً بقيود جانبية للجناح المضغوط أو عندم يكون معرّضاً إلى عزم في نهاية الظفر فيعامل المجاز بين القيود الجانبية وكأنه جائز بسيط ويحدد الطول الفعّال كما جاء في الفقرة (5-4-4).

2) عندما لا يكون الجائز الظفري مزوداً بقيود جانبية للجناح المضغوط ولا يوجد أي عزم مطبّق عند رأسه فيحدد الطول الفعّال L_E حسب الجدول (5-4).

5 - 5 مقاومة تحنيب الفتل الجانبي Lateral torsional buckling resistance

يمكن تلخيص العوامل التي تؤثر على الاستقرار الجانبي كما يلي:

- طول الجائز بين القيود الجانبية.
- شكل المقطع العرضي.
- تغير عزم الانعطاف على طول الجائز.
- شكل القيود الجانبية عند نهايتي الجائز.
- أسلوب تطبيق الأحمال: مطبّقة على الجناح المشدود أم على الجناح المضغوط ومدى مساهمتها في عدم استقرار الجائز.

وبناءً على ذلك يحدد العزم المقاوم لتحنيب الفتل الجانبي M_b لجائز أو لجزء منه بين قيدين جانبيين متتاليين وفق العلاقات التالية:

- من أجل المقاطع اللدنة والمدمجة:

$$M_b = p_b.S_x \qquad (5\text{-}11).$$

- من أجل المقاطع نصف المدمجة:

$$M_b = p_b.Z_x \qquad (5-12)$$

أو

$$M_b = p_b.S_{x.eff} \qquad (5\text{-}13)$$

- من أجل المقاطع النحيفة:

$$M_b = p_b.Z_{x.eff} \qquad (5-14)$$

حيث: S_x معامل المقطع اللدن حول محوره الرئيسي.

$S_{x.eff}$ معامل المقطع اللدن الفعال حول محوره الرئيسي.

Z_x معامل المقطع المرن حول المحور الرئيسي.

$Z_{x.eff}$ معامل المقطع المرن الفعال حول محوره الرئيسي.

p_b مقاومة الانعطاف، وتحدد من الجدولين (5-7,8) وفقاً لنوع المقطع والمقاومة التصميمية للمادة p_y ونسبة النحافة المكافئة λ_{LT} والتي تحدد للمقاطع I و H و مجراية وفق العلاقة التالية:

$$\lambda_{LT} = u\, v \lambda \sqrt{\beta_w} \qquad (5\text{-}15)$$

حيث:

- $\lambda = L_E / r_y$ نسبة النحافة حول المحور الضعيف:

تأخذ تأثير الصلابة الجانبية بالحسبان من خلال نصف قطر العطالة r_y حول المحور الضعيف والطول الفعّال L_E الذي يؤخذ بالحسبان عند تحديده نوع الجائز ونوع القيود الجانبية عند المساند ونوع الأحمال طبيعية أو مسببة لعدم الاستقرار.

- (u) معامل التحنيب buckling parameter:

يأخذ بالحسبان نوع المقطع العرضي ومعامل تشوهه (warping). ويؤخذ مساوياً 0.9 للمقاطع المدرفلة I و H ومجاري ومساوياً 1.0 للمقاطع الأخرى.

- (v) معامل النحافة slenderness factor:

يأخذ بالحسبان صلابة الفتل، ويحدد للمقاطع المنتظمة ذات الأجنحة المتناظرة حول محور واحد على الأقل من الجدول (5-5) بدلالة λ / x و $\eta = I_{yc} / \left(I_{yc} + I_{yt} \right)$ حيث I_{yc} و I_{yt} عزمي عطالة الجناحين المضغوط والمشدود على الترتيب حول المحور الثانوي للمقطع. و (x) مؤشر الفتل torsional index الذي يدل على مقدار صلابة الفتل للمقطع العرضي ويمكن أن يؤخذ مساوياً D/T للمقاطع المتساوية الجناحين حيث D كامل ارتفاع المقطع و T سماكة جناحه. أما في حالة المقاطع الأخرى لا بد من العودة للملحق B.2.3 من الكود BS5950

- β_W تؤخذ هذه النسبة كما يلي:

  - من أجل المقاطع اللدنة والمدمجة: $\beta_W = 1$

- من أجل المقاطع نصف المدمجة:

$M_b=p_bZ_x$ إذا تم استخدام $\beta_W=Z_x/S_x$

$M_b=p_bS_{x.eff}$ إذا تم استخدام $\beta_W=S_{x.eff}/S_x$

- من أجل المقاطع النحيفة: $\beta_W=Z_{x.eff} / S_x$

أما للمقاطع الصندوقية فتحدد نسبة النحافة المكافئة λ_{LT} كما جاء في الفقرة B.2.6 من الكود BS5950

كي يكون جزء من جائز (مقطعه العرض I أو H أو مجراية أو صندوقي وبجناحين متساويين) بين قيدين جانبيين متتاليين آمناً ضد تحنيب الفتل الجانبي يجب أن تتحقق العلاقة التالية:

$$M_x \le M_b / m_{LT} \qquad (5\text{-}16)$$

حيث: M_x عزم الانعطاف الأعظمي الذي يتعرض له جزء الجائز المدروس حول محوره الرئيسي.

m_{LT} معامل العزم المنتظم المكافئ ويؤخذ مساويا للواحد في حالة الأحمال المسببة لعدم الاستقرار، أما في حالة الأحمال العادية فيؤخذ من الجدول (5-6).

تُطبق نفس الإجراءات السابقة اذا كان المقطع العرضي I أو صندوقي وبجناحين غير متساويين وذلك عندما يتعرض جزء الجائز بين القيدين الجانبيين إلى تقوس باتجاه واحد وإلاّ يجب العودة للفقرة B2.4.2 من الكود BS5950

عند تحديد العزم المقاوم لتحنيب الفتل الجانبي للعناصر المكونة من زاوية واحدة غير مقيدة جانباً يجب الأخذ بالحسبان أن المحورين *x-x* و *y-y* ليسا بحمورين رئيسيين وعليه يتم تحليل العزم المطبق إلى مركبتين حول المحورين الرئيسيين *u-u* و *v-v* ومن ثم يتم تحديد العزم المقاوم لتحنيب الفتل الجانبي M_b حول المحور *u-u* بناءً عل قيمة λ_{LT} التي يتم الحصول عليها من الفقرة B2-9 من الكود BS5950. ولكن يمكن تحديد العزم المقاوم لتحنيب الفتل الجانبي للعناصر المكونة من زاوية واحدة متساوية

الساقين والخاضعة لعزم حول المحور x عندما يكون $b/t < 15\varepsilon$ وفق إحدى العلاقاتين التاليتين:

عندما يكون كعب الزاوية مضغوطاً

$$M_b = 0.8\, p_y\, Z_x \qquad (5\text{-}17)$$

عندما يكون كعب الزاوية مشدوداً

$$M_b = p_y\, Z_x\left(\frac{1350\varepsilon - L_E / r_{vv}}{1625\varepsilon}\right) \le 0.8\, p_y\, Z_x \qquad (5\text{-}18)$$

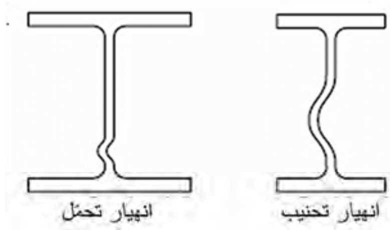
حيث: Z_x معامل المقطع المرن الأصغر حول المحور x

r_{vv} نصف قطر العطالة الأصغر للمقطع

L_E المجاز غير المقيد جانبياً.

6 - 5 تحمّل وتحنيب الجسد Web bearing and buckling

في المواقع التي يتعرض لها جناح الجائز إلى قوى مركزه يجب التحقق من جساءة جسده لنقل هذه القوى حيث يمكن أن يتعرض إلى نمطين من الانهيار كما في الشكل (5-4): انهيار تحمّل (دهس) وانهيار تحنيب. فإذا بينت التحقيقات أن جسد المقطع بمفرده غير كافٍ، فلا بد من استخدام مدعّمات مناسبة، وسنأتي على تصميم المدعّمات في بحث الجوائز الصفائحية.



الشكل (5-4) تحمّل وتحنيب جسد المقطع

5-6-1 تحمّل الجسد Web bearing

تُحدد طاقة تحمل الجسد للقوى وردود الفعل المطبقة على الجناح والمارة في مستوي الجسد بالعلاقة التالية:

$$P_{bw} = (b_1 + n\,k)t\;p_{yw} \qquad (5\text{-}19)$$

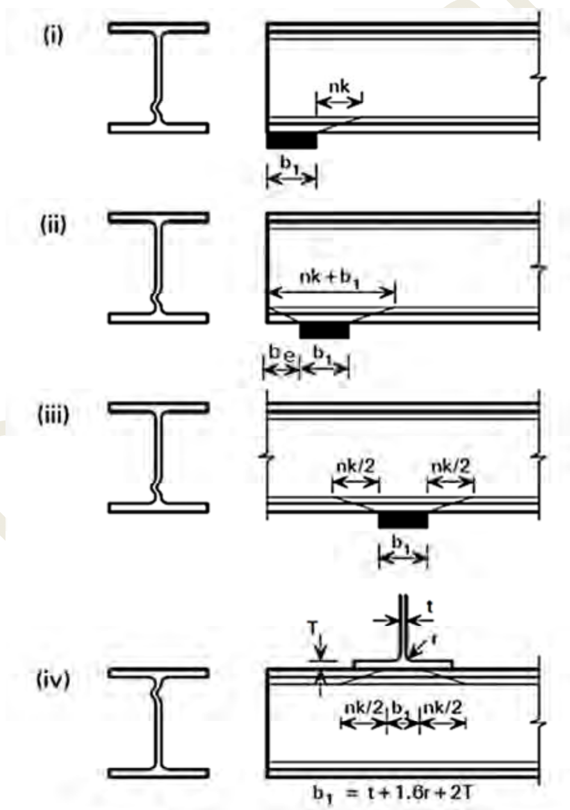
حيث: b_1 طول سطح التحميل الصلب وهو الطول الذي لا يتشوه بشكل ملحوظ نتيجة الانعطاف ويحدد بانتشار الحمل من خلال صفيحة التحميل وصولاً إلى جناح الجائز كما هو مبين في الشكل (5-4)

$k = T + r$ للمقاطع I و H المدرفلة و $k = T$ للمقاطع I و H الملحومة حيث r نصف قطر الجذر الجسد كما في الشكل (5-5)

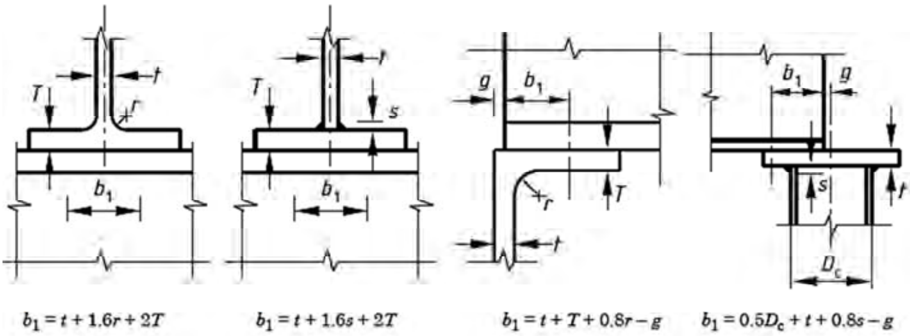
$n = 2 + 0.6b_e / k \leq 5$ إلاّ عند نهاية العناصر فتؤخذ $n = 5$

b_e تمثل المسافة بين الطرف القريب للعنصر و طرف التحميل الصلب، الشكل (5-4)

t و T سماكتي الجسد والجناح، p_{yw} المقاومة التصميمية لفولاذ الجسد.



الشكل (5-4)

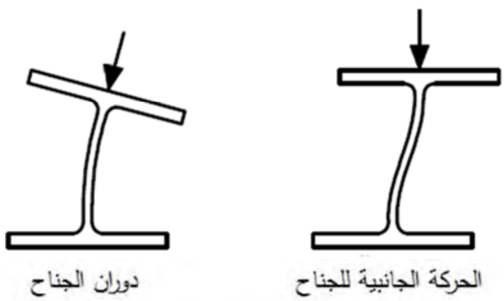


الشكل (5-5) طول سطح التحميل الصلب

5-6-2 تحنيب الجسد Web buckling

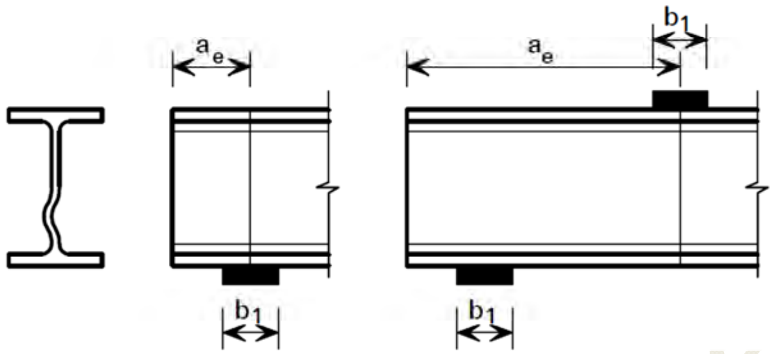
في الموقع التي يُطبق فيها قوى مركزة يتوجب على جسد مقطع الجائز أن يتصرف كعمود. يبين الشكل (5-6) الحركة الجانبية للجناح المحمّل ودورانه بالنسبة للجناح الآخر وجسد المقطع على الترتيب ولهذا يتم فرض أن الجناح الذي يُطبيق عبره الحمل ممنوع من هذه الحركة ومن هذا الدوران وتحدد مقاومة الجسد عندها للتحنيب بالعلاقة التالية:

$$P_X = \frac{25\,\varepsilon\, t}{\sqrt{(b_1 + n\,k)\,d}}\,P_{bw} \qquad (5\text{-}20)$$



الشكل (5-6) الحركة الجانبية للجناح المحمل ودورانه

يتم تطبيق معامل تخفيض قدره $(a_e + 0.7d) / 1.4\,d$ على مقاومة الجسد P_X إذا كانت المسافة بين نقطة تطبيق الحمل أو رد الفعل a_e (انظر الشكل 5-7) أقل من $0.7d$



الشكل (5-7)

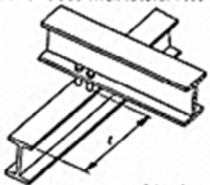
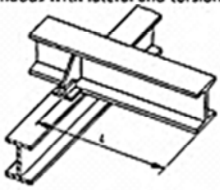
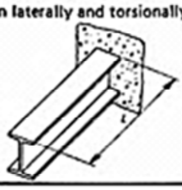
إذا كانت الحركة الجانبية للجناح المحمّل بالنسبة للجناح الآخر أو دورانه بالنسبة لجسد المقطع غير مقيدتين فتصبح مقاومة الجسد P_X كما يلي:

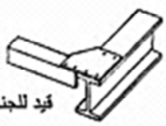
$$P_{XR} = \frac{0.7d}{L_E} P_X \qquad (5\text{-}21)$$

حيث: L_E الطول الفعّال لجسد المقطع الذي يتصرف كعمود ويحدد من الجدول (4-4) استناداً إلى شروط تقييده، فمثلاً:

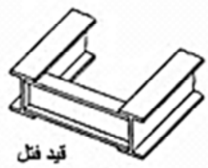
* $L_E = 0.7\, d$ عندما يكون الجناح المحمّل ممنوعاً من الإنتقال الجانبي والدوران عند نقطة تطبيق الحمل.
* $L_E = d$ عندما يكون الجناح المحمّل ممنوعاً من الإنتقال الجانبي وليس ممنوعاً تماماً من الدوران.

Effective length L_E for beams		ا الجدول (5-3) الأطوال الفعالة للجوائز	
Conditions of restraint at supports	شروط التقييد عند المساند	شروط التحميل Loading conditions	
		أحمال طبيعية Normal	أحمال عدم استقرار Destabilizing
الجناح المضغوط مقيد جانبياً الجائز مقيد تماماً ضد الفتل Compression flange laterally restrained Beam fully restrained against torsion	Both flanges fully restrained against rotation on plan كلا الجناحين مقيد تماماً ضد الدوران في المستوي	$0.7L$	$0.85L$
	Both flanges partially restrained against rotation on plan كلا الجناحين مقيد جزئياً ضد الدوران في المستوي	$0.85L$	$1.0L$
	Both flanges free to rotate on plan كلا الجناحين حر في الدوران	$1.0L$	$1.2L$
الجناح المضغوط غير مقيد جانبياً كلا الجناحين حر في الدوران Compression flange laterally unrestrained Both flanges free to rotate on plan	Restraint against torsion provided only by positive connection of bottom flange to supports قيود الفتل مؤمنة فقط بواسطة الوصلات الموجبة للجناح السفلي إلى المساند	$1.0L + 2D$	$1.2L + 2D$
	Restraint against torsion provided only by dead bearing of bottom flange on supports قيود الفتل مؤمنة فقط بواسطة التحميل الميت للجناح السفلي إلى المساند	$1.2L + 2D$	$1.4L + 2D$
D is the depth of the beam.		D الارتفاع الكلي للجائز	

Effective length, L_E, for cantilever of length L — الجدول(5-4)الأطوال الفعالة للأظفار			
Restraint conditions شروط التقييد		**Loading conditions** شروط التحميل	
At support عند المسند	**At tip** عند رأس الظفر	**Normal** أحمال طبيعية	**Destabilizing** أحمال عدم استقرار
مستمر مع قيد جانبي فقط Continuous with lateral restraint only 	Free حر	3.0L	7.5L
	Laterally restrained on top flange only مقيد جانبياً عند الجناح العلوي فقط	2.7L	7.5L
	Torsionally restrained only مقيد ضد الفتل فقط	2.4L	4.5L
	Laterally and torsionally restrained مقيد جانبياً وضد الفتل	2.1L	3.6L
مستمر مع قيد جانبي وقيد فتل Continuous with lateral and torsional restraint 	Free حر	1.0L	2.5L
	Laterally restrained on top flange only مقيد جانبياً عند الجناح العلوي فقط	0.9L	2.5L
	Torsionally restrained only مقيد ضد الفتل فقط	0.8L	1.5L
	Laterally and torsionally restrained مقيد جانبياً وضد الفتل	0.7L	1.2L
ممنوع من الانتقال الجانبي والفتل Built-in laterally and torsionally 	Free حر	0.8L	1.4L
	Laterally restrained on top flange only مقيد جانبياً عند الجناح العلوي فقط	0.7L	1.4L
	Torsionally restrained only مقيد ضد الفتل فقط	0.6L	0.6L
	Laterally and torsionally restrained مقيد جانبياً وضد الفتل	0.5L	0.5L

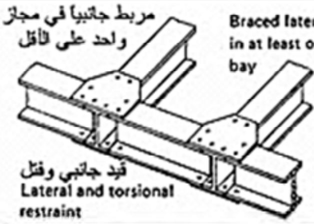


قيد للجناح العلوي
Top flange restraint



قيد فتل
Torsional restraint

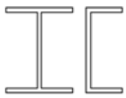
مربط جانبياً في مجاز واحد على الأقل
Braced laterally in at least one bay



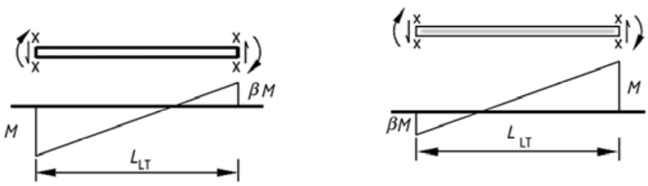
قيد جانبي وفتل
Lateral and torsional restraint

عندما تستخرج الأطوال الفعالة L_E من هذا الجدول يجب أن يؤخذ معامل العزم المنتظم المكافئ $m_{LT}=1.0$

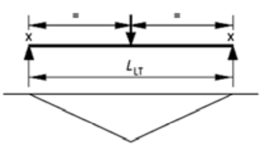
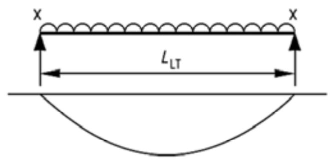
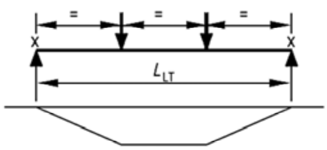
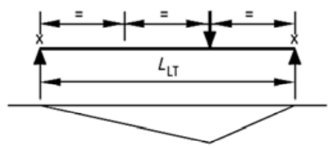
جدول (5-5) ـــ معامل النحافة ν للمقاطع ذات الجناحين

λ/x	جناحين غير متساويين ، الجناح الأكبر هو المضغوط				جناحين متساويين	جناحين غير متساويين ، الجناح الأكبر هو المضغوط			
									
	η				η	η			
	0.9	**0.8**	**0.7**	**0.6**	**0.5**	**0.4**	**0.3**	**0.2**	**0.1**
0.5	0.81	0.84	0.88	0.93	1.00	1.11	1.28	1.57	2.20
1.0	0.80	0.83	0.87	0.92	0.99	1.10	1.27	1.53	2.11
1.5	0.80	0.82	0.86	0.91	0.97	1.08	1.24	1.48	1.98
2.0	0.78	0.81	0.85	0.89	0.96	1.06	1.20	1.42	1.84
2.5	0.77	0.80	0.83	0.88	0.93	1.03	1.16	1.35	1.70
3.0	0.76	0.78	0.82	0.86	0.91	1.00	1.12	1.29	1.57
3.5	0.74	0.77	0.80	0.84	0.89	0.97	1.07	1.22	1.46
4.0	0.73	0.75	0.78	0.82	0.86	0.94	1.03	1.16	1.36
4.5	0.71	0.73	0.76	0.80	0.84	0.91	0.99	1.11	1.27
5.0	0.70	0.72	0.75	0.78	0.82	0.88	0.95	1.05	1.20
5.5	0.68	0.70	0.73	0.76	0.79	0.85	0.92	1.01	1.13
6.0	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	0.82	0.89	0.97	1.07
6.5	0.65	0.67	0.70	0.72	0.75	0.80	0.86	0.93	1.02
7.0	0.64	0.66	0.68	0.70	0.73	0.78	0.83	0.89	0.97
7.5	0.63	0.65	0.67	0.69	0.72	0.76	0.80	0.86	0.93
8.0	0.62	0.63	0.65	0.67	0.70	0.74	0.78	0.83	0.89
8.5	0.60	0.62	0.64	0.66	0.68	0.72	0.76	0.80	0.86
9.0	0.59	0.61	0.63	0.64	0.67	0.70	0.74	0.78	0.83
9.5	0.58	0.60	0.61	0.63	0.65	0.68	0.72	0.76	0.80
10.0	0.57	0.59	0.60	0.62	0.64	0.67	0.70	0.74	0.78
11.0	0.55	0.57	0.58	0.60	0.61	0.64	0.67	0.70	0.73
12.0	0.54	0.55	0.56	0.58	0.59	0.61	0.64	0.66	0.70
13.0	0.52	0.53	0.54	0.56	0.57	0.59	0.61	0.64	0.66
14.0	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.57	0.59	0.61	0.63
15.0	0.49	0.50	0.51	0.52	0.53	0.55	0.57	0.59	0.61
16.0	0.48	0.49	0.50	0.51	0.52	0.53	0.55	0.57	0.59
17.0	0.47	0.48	0.49	0.49	0.50	0.52	0.53	0.55	0.57
18.0	0.46	0.47	0.47	0.48	0.49	0.50	0.52	0.53	0.55
19.0	0.45	0.46	0.46	0.47	0.48	0.49	0.50	0.52	0.53
20.0	0.44	0.45	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49	0.50	0.51

الجدول (6-5) معامل العزم المكافئ المنتظم m_{LT}

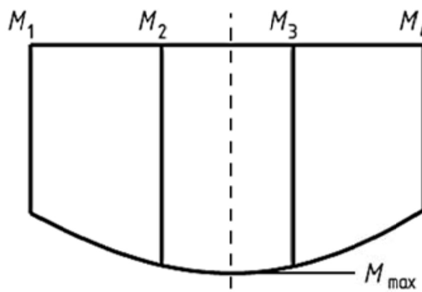
لا يوجد حمولة بين نقاط السند الجانبي	β	m_{LT}
β positive 	1.0	1.00
	0.9	0.96
	0.8	0.92
	0.7	0.88
	0.6	0.84
	0.5	0.80
	0.4	0.76
	0.3	0.72
	0.2	0.68
X Lateral restraint	0.1	0.64
β negative 	0.0	0.60
	– 0.1	0.56
	– 0.2	0.52
	– 0.3	0.48
	– 0.4	0.46
	– 0.5	0.44
	– 0.6	0.44
	– 0.7	0.44
	– 0.8	0.44
	– 0.9	0.44
	– 1.0	0.44

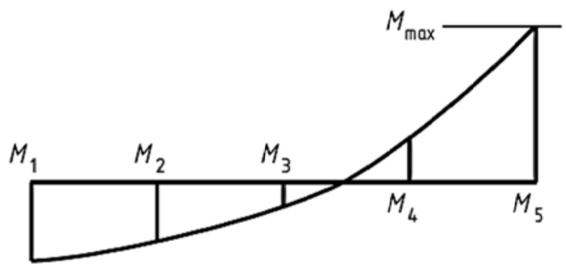
حالات خاصة من التحميل بين نقاط السند الجانبي

 $m_{LT} = 0.850$	 $m_{LT} = 0.925$
 $m_{LT} = 0.925$	 $m_{LT} = 0.744$

الجدول (5-6) (تابع) معامل العزم المكافئ المنتظم m_{LT}

يوجد حمولة عامة بين نقاط السند الجانبي





For beams: $m_{LT} = 0.2 + \dfrac{0.15M_2 + 0.5M_3 + 0.15M_4}{M_{max}}$ but $m_{LT} \geq 0.44$

All moments are taken as positive. The moments M_2 and M_4 are the values at the quarter points, the moment M_3 is the value at mid-length and M_{max} is the maximum moment in the segment.

For cantilevers without intermediate lateral restraint: $m_{LT} = 1.00$.

الجدول (5-7) مقاومة الإنعطاف للمقاطع المدرفلة p_b (N/mm²)

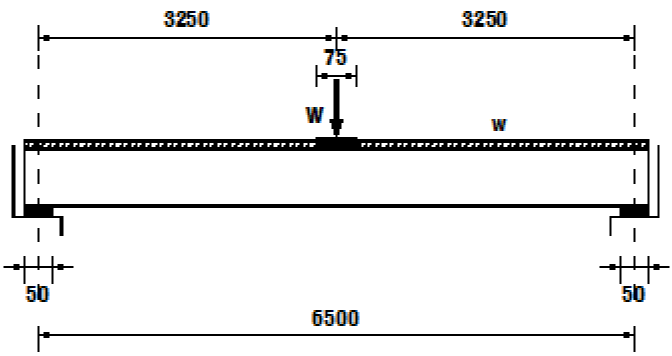
λ_{LT}	Steel grade and design strength p_y (N/mm²)														
	S 275					S 355					S 460				
	235	245	255	265	275	315	325	335	345	355	400	410	430	440	460
25	235	245	255	265	275	315	325	335	345	355	400	410	430	440	460
30	235	245	255	265	275	315	325	335	345	355	395	403	421	429	446
35	235	245	255	265	273	307	316	324	332	341	378	386	402	410	426
40	229	238	246	254	262	294	302	309	317	325	359	367	382	389	404
45	219	227	235	242	250	280	287	294	302	309	340	347	361	367	381
50	210	217	224	231	238	265	272	279	285	292	320	326	338	344	356
55	199	206	213	219	226	251	257	263	268	274	299	305	315	320	330
60	189	195	201	207	213	236	241	246	251	257	278	283	292	296	304
65	179	185	190	196	201	221	225	230	234	239	257	261	269	272	279
70	169	174	179	184	188	206	210	214	218	222	237	241	247	250	256
75	159	164	168	172	176	192	195	199	202	205	219	221	226	229	234
80	150	154	158	161	165	178	181	184	187	190	201	203	208	210	214
85	140	144	147	151	154	165	168	170	173	175	185	187	190	192	195
90	132	135	138	141	144	153	156	158	160	162	170	172	175	176	179
95	124	126	129	131	134	143	144	146	148	150	157	158	161	162	164
100	116	118	121	123	125	132	134	136	137	139	145	146	148	149	151
105	109	111	113	115	117	123	125	126	128	129	134	135	137	138	140
110	102	104	106	107	109	115	116	117	119	120	124	125	127	128	129
115	96	97	99	101	102	107	108	109	110	111	115	116	118	118	120
120	90	91	93	94	96	100	101	102	103	104	107	108	109	110	111
125	85	86	87	89	90	94	95	96	96	97	100	101	102	103	104
130	80	81	82	83	84	88	89	90	90	91	94	94	95	96	97
135	75	76	77	78	79	83	83	84	85	85	88	88	89	90	90
140	71	72	73	74	75	78	78	79	80	80	82	83	84	84	85
145	67	68	69	70	71	73	74	74	75	75	77	78	79	79	80
150	64	64	65	66	67	69	70	70	71	71	73	73	74	74	75
155	60	61	62	62	63	65	66	66	67	67	69	69	70	70	71
160	57	58	59	59	60	62	62	63	63	63	65	65	66	66	67
165	54	55	56	56	57	59	59	59	60	60	61	62	62	62	63
170	52	52	53	53	54	56	56	56	57	57	58	58	59	59	60
175	49	50	50	51	51	53	53	53	54	54	55	55	56	56	56
180	47	47	48	48	49	50	51	51	51	51	52	53	53	53	54
185	45	45	46	46	46	48	48	48	49	49	50	50	50	51	51
190	43	43	44	44	44	46	46	46	46	47	48	48	48	48	48
195	41	41	42	42	42	43	44	44	44	44	45	45	46	46	46
200	39	39	40	40	40	42	42	42	42	42	43	43	44	44	44
210	36	36	37	37	37	38	38	38	39	39	39	40	40	40	40
220	33	33	34	34	34	35	35	35	35	36	36	36	37	37	37
230	31	31	31	31	31	32	32	33	33	33	33	33	34	34	34
240	28	29	29	29	29	30	30	30	30	30	31	31	31	31	31
250	26	27	27	27	27	28	28	28	28	28	29	29	29	29	29
λ_{L0}	37.1	36.3	35.6	35.0	34.3	32.1	31.6	31.1	30.6	30.2	28.4	28.1	27.4	27.1	26.5

الجدول (5-8) مقاومة الإنعطاف للمقاطع الملحومة p_b (N/mm^2)

λ_{LT}	Steel grade and design strength p_y (N/mm^2)														
	S 275					S 355					S 460				
	235	245	255	265	275	315	325	335	345	355	400	410	430	440	460
25	235	245	255	265	275	315	325	335	345	355	400	410	430	440	460
30	235	245	255	265	275	315	325	335	345	355	390	397	412	419	434
35	235	245	255	265	272	300	307	314	321	328	358	365	378	385	398
40	224	231	237	244	250	276	282	288	295	301	328	334	346	352	364
45	206	212	218	224	230	253	259	265	270	276	300	306	316	321	332
50	190	196	201	207	212	233	238	243	248	253	275	279	288	293	302
55	175	180	185	190	195	214	219	223	227	232	251	255	263	269	281
60	162	167	171	176	180	197	201	205	209	212	237	242	253	258	269
65	150	154	158	162	166	183	188	194	199	204	227	232	242	247	256
70	139	142	146	150	155	177	182	187	192	196	217	222	230	234	242
75	130	135	140	145	151	170	175	179	184	188	207	210	218	221	228
80	126	131	136	141	146	163	168	172	176	179	196	199	205	208	214
85	122	127	131	136	140	156	160	164	167	171	185	187	190	192	195
90	118	123	127	131	135	149	152	156	159	162	170	172	175	176	179
95	114	118	122	125	129	142	144	146	148	150	157	158	161	162	164
100	110	113	117	120	123	132	134	136	137	139	145	146	148	149	151
105	106	109	112	115	117	123	125	126	128	129	134	135	137	138	140
110	101	104	106	107	109	115	116	117	119	120	124	125	127	128	129
115	96	97	99	101	102	107	108	109	110	111	115	116	118	118	120
120	90	91	93	94	96	100	101	102	103	104	107	108	109	110	111
125	85	86	87	89	90	94	95	96	96	97	100	101	102	103	104
130	80	81	82	83	84	88	89	90	90	91	94	94	95	96	97
135	75	76	77	78	79	83	83	84	85	85	88	88	89	90	90
140	71	72	73	74	75	78	78	79	80	80	82	83	84	84	85
145	67	68	69	70	71	73	74	74	75	75	77	78	79	79	80
150	64	64	65	66	67	69	70	70	71	71	73	73	74	74	75
155	60	61	62	62	63	65	66	66	67	67	69	69	70	70	71
160	57	58	59	59	60	62	62	63	63	63	65	65	66	66	67
165	54	55	56	56	57	59	59	59	60	60	61	62	62	62	63
170	52	52	53	53	54	56	56	56	57	57	58	58	59	59	60
175	49	50	50	51	51	53	53	53	54	54	55	55	56	56	56
180	47	47	48	48	49	50	51	51	51	51	52	53	53	53	54
185	45	45	46	46	46	48	48	48	49	49	50	50	50	51	51
190	43	43	44	44	44	46	46	46	46	47	48	48	48	48	48
195	41	41	42	42	42	43	44	44	44	44	45	45	46	46	46
200	39	39	40	40	40	42	42	42	42	42	43	43	44	44	44
210	36	36	37	37	37	38	38	38	39	39	39	40	40	40	40
220	33	33	34	34	34	35	35	35	35	36	36	36	37	37	37
230	31	31	31	31	31	32	32	33	33	33	33	33	34	34	34
240	28	29	29	29	29	30	30	30	30	30	31	31	31	31	31
250	26	27	27	27	27	28	28	28	28	28	29	29	29	29	29
λ_{L0}	37.1	36.3	35.6	35.0	34.3	32.1	31.6	31.1	30.6	30.2	28.4	28.1	27.4	27.1	26.5

مثال: (5-1)

يبين الشكل أدناه جائزاً مستنداً استناداً بسيطاً وصلباً عند طرفيه. طول منطقة الاستناد في كل طرف 50 mm. صمم الجائز من فولاذ ماركته S275 تحت تأثير الأحمال المبينة في الشكل مع العلم أن الجناح العلوي ممنوع من الانتقال الجانبي على كامل طول الجائز وأن الحمل المركز مطبق على مسافة 75mm



<u>الحل :</u>

* الأحمال غير المصعّدة

– الميتة $w_d = 15\,kN/m$ موزعة بانتظام و $W_d = 40\,kN$ مركز.

– الحية $w_i = 30\,kN/m$ موزعة بانتظام و $W_i = 50\,kN$ مركز.

* عوامل التصعيد $\gamma_{fd} = 1.4$ ، $\gamma_{fi} = 1.6$ الجدول (1-2)

* الأحمال المصعّدة

موزع بانتظام $w' = 1.4 \text{ x } 15 + 1.6 \text{ x } 30 = 69\,kN/m$

مركّز $W' = 1.4 \text{ x } 40 + 1.6 \text{ x } 50 = 136\,kN$

* مجاز الجائز $L = 6.5\,m$

* العزم التصميمي:

$M = w' L^2/8 + W' L/4$

$M = 69 \text{ x } 6.5^2/8 + 136 \text{ x } 6.5/4 = 585\,kNm$

* القص التصميمي

– في طرف الجائز

$$F_{ve} = (w'L + W')/2 = (69 \text{ x } 6.5 + 136)/2 = 292\, kN$$

– في منتصف الجائز

$$F_{vc} = F_{ve} - w'L/2 = 292 - 69 \text{ x } 6.5/2 = 67.8\, kN$$

* لنجرب المقطع $533 \text{ x } 210 \text{ x } 92\ UB$

$D = 533.1\, mm$, $B = 209.3\, mm$, $t = 10.2\, mm$

$T = 15.6\, mm$, $\mathrm{d} = 476.5\, mm$, $\mathrm{I} = 55400\, \mathrm{cm}^4$, $Z = 2080\, cm^3$

$S = 2370\, cm^3$, $r_y = 4.51 cm$, $r = 12.7\, mm$ (نصف قطر الجذر)

الجدول (2-1)

* بما أن $T = 15.6\, mm$ فإن $p_y = 275\, N/mm^2$

$$\varepsilon = (275/\, p_y)^{1/2} = 1$$

الجدول (2-2)

* المقطع مدمج لأن:

$b/T = B/2T = 209.3/2 \text{ x } 15.6 = 6.7 < 10\, \varepsilon = 10$

$d/t = 476.5/10.2 = 46.7 < 100\, \varepsilon\ = 100$

يكفي أن نتأكد من أن المقطع مدمج لأن الجائز ذو استناد بسيط ولا يحتاج إلى أية طاقة دوران لدنة.

* لا حاجة لتحقيق تحنيب القص لأن:

$d/t = 46.7 < 70\, \varepsilon\ = 70$

* تحقيق المقطع في منتصف المجاز:

– مساحة القص $A_v = tD = 10.2 \text{ x } 533.1 = 5438\, mm^2$

– طاقة تحمّل القص

العلاقة (5-1)

$$P_v = 0.6\, p_y\, A_v = 0.6 \text{ x } 275 \text{ x } 5738 \text{ x } 10^{-3}$$

$$= 897\, kN > F_{vc} = 67.8\, kN \quad \text{o.k.}$$

– طاقة تحمّل العزم: بما أن $F_{vc} < 0.6\, P_v$ فتحدد طاقة تحمّل العزم بالعلاقة التالية:

العلاقة (5-2)

$M_c = p_y\, S_x = 275 \text{ x } 2370 \text{ x } 10^{-3} = 652\ kN\ m$

$M_c = 652\, kN\ m > M = 585\, kN\ m$ (العزم التصميمي) $o.k.$

* تحقيق المقطع عند طرف الجائز:

– العزم التصميمي $M_c = 652\, kN\ m > M = 0 \quad o.k.$

– القصّ $P_v = 897\, kN > \mathrm{F_{ve}} = 292\, kN \quad o.k.$

* تحقيق تحمّل جسد المقطع عند المسند:

– كما هو مبين في الشكل أدناه فإن

$b_1 = 50 mm\,, \quad b_e = 0, \quad k = T + r = 15.6 + 12.7 = 28.3 mm$

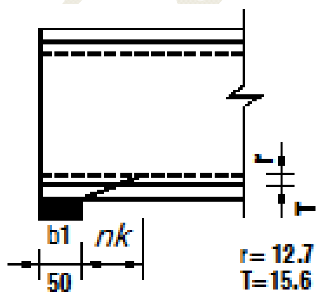
$n = 2 + 0.6 b_e / k = 2$

– طاقة تحمّل الجسد

العلاقة (5-19)

$P_{bw} = (b_1 + n\ k)t\ p_{yw}$

$P_{bw} = (50 + 2 \times 28.3) \text{ x } 10.2 \text{ x } 275 \text{ x } 10^{-3} = 299\ kN > F_{ve} = 292\ kN\ \ o.k.$



* تحقيق تحنيب الجسد

– بما أن الجناح السفلي ممنوع من الحركة الجانبية والدوران بسبب المسند فتحسب مقاومة الجسد للتحنيب من العلاقة:

العلاقة (5-20)

$$P_X = \frac{25\, \varepsilon\, \mathrm{t}}{\sqrt{(\mathrm{b_1} + \mathrm{n\ k})\,\mathrm{d}}} P_{bw}$$

$$P_X = \frac{25 \times 1 \times 10.2}{\sqrt{(50 + 2 \times 28.3) \times 476.5}} \times 299 = 338\ kN$$

– يتم تطبيق معامل تخفيض قدره $(a_e + 0.7d) / 1.4\ d$ على P_X إذا

كانت المسافة a_e بين نقطة تطبيق رد الفعل وطرف الجائز أقل من $0.7d$

$$a_e = b_1/2 = 25 < 0.7d = 0.7 \times 476.5 = 333.5 \Rightarrow$$

$$(a_e + 0.7d)/1.4\,d = (25 + 0.7 \times 476.5)/1.4 \times 476.5 = 0.537$$

- إذاً مقاومة الجسد المخفضة للتحنيب:

$$P_{XR} = 0.537 \times 338 = 181\,kN < F_{ve} = 292\,kN \quad \text{Not } o.k.$$

- إذاً الجسد غير محقق ولتلافي ذلك لابد من تكبير مساحة الإستناد b_1 أو تطويل الجائز بعد نقطة الإسنتاد فتكبر a_e وبالتالي يكبر معامل التخفيض ليصبح قريباً من الواحد أو يتم تزويد الجسد بمدعمة استناد كما سيأتي في بحث الجوائز الصفائحية

* تحقيق السهوم:

- يجب أن يتم تحقيق السهوم تحت تأثير أحمال الاستثمار، أي الأحمال الحية غير المصعّدة $w_i = 30\,kN\,m\ ,\ W_i = 50\,kN$
- بافتراض أن الجائز يحمل إنهاءات يمكن أن تتضرر بالسهوم فيحدد السهم الأعظمي المسموح بالعلاقة التالية:

$$\delta_{\lim} = L/360 = 6.5 \text{ x } 10^3/360 = 18.1\,mm$$

- يحدد السهم الناجم عن حمولات الاستثمار بالعلاقة التالية:

$$\delta = \frac{1}{EI}\left[\frac{5\,w_i\ L^4}{384} + \frac{W_i\ L^3}{48}\right]$$

معامل مرونة الفولاذ $E = 205\,kN/mm^2$

$$\delta = \frac{1}{205 \text{ x } 55400}\left[\frac{5 \text{ x } 30 \text{x } 6.5^4}{384} + \frac{50 \text{ x } 6.5^3}{48}\right] \text{x } 10^5$$

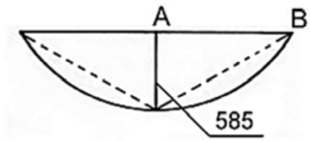
$$\delta = 8.66\,mm < \delta_{\lim} = 18.1\,mm \quad o.k.$$

مثال: (5-2)

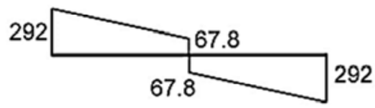
حقق المقطع المختار في المثال (5-1) إذا كان الجائز مقيداً جانبياً تماماً عند المسندين وعند نقطة تطبيق الحمل المركّز فقط.

<u>الحل :</u>

* يبين الشكل أدناه مخططي العزم والقص للجائز الناتجين من الأحمال المصعّدة



مخطط عزم الانعطاف kNm



مخطط القص kN

* تبين في المثال (5-1) أن المقطع مدمج ولا حاجة لتحقيق تحنيب القص وأن $p_y = 275\ N\ mm^2$ و $\varepsilon = 1$
* كما أن المقطع محقق على التأثير المركّب للقص وعزم الانعطاف في منتصف المجاز وفوق المسندين.
* وأن المقطع محقق أيضاً على تحمّل الجسد والسهوم أما تحنيب الجسد فيحتاج معالجة.
* يجب تحقيق الجائز على تحنيب الفتل الجانبي بافتراض أن الطول AB غير مقيد جانبياً.

الفقرة (5-4-4)

– بافتراض أن الجائز مقيد جانبياً تماماً عند المسندين وعند نقطة تطبيق الحمل الخارجي وحرّ بالانتقال الجانبي والدوران بين هذه النقاط وأن الحمل مطبق على الجناح العلوي ويمكن أن يكون سبباً في عدم استقرار الجائز فإن الطول الفعّال للجزء المحصور بين AB يحدد كما يلي:

$L_E = (1.2\, L_{AB} + 0.85\, L_{AB})/2$ $L_E = (1.2 \text{ x } 3.25 + 0.85 \text{ x } 3.25)/2 = 3.33\, m$	الجدول (5-3)
– نسبة النحافة $\lambda = L_E / r_y = 333/4.51 = 74$ – مؤشر الفتل $x = D/T = 533.1/15.6 = 34$ – معامل التحنيب $u = 0.9$ – يحدد معامل النحافة v من الجدول (5-5) بدلالة $\lambda / x = 74/34 = 2.17$ و $\eta = I_{yc} / (I_{yc} + I_{yt}) = 0.5$ فنجد $v = 0.95$ بما أن المقطع مدمج فإن: $\beta_W = 1$	
– إذاً تحدد نسبة النحافة المكافئة λ_{LT} وفق العلاقة التالية: $\lambda_{LT} = u\, v\, \lambda \sqrt{\beta_W} = 0.9 \text{ x } 0.95 \text{ x } 74 \text{x} \sqrt{1} = 63$	العلاقة (5-15)
– تحدد مقاومة الانعطاف p_b من الجدول (5-7) بدلالة λ_{LT} و p_y فنجد: $p_b = 207\ N/mm^2$	
– يحدد العزم المقاوم للتحنيب الجانبي للجائز وفق العلاقة: $M_b = p_b\, S_x = 207 \text{ x } 2370 \text{ x } 10^{-3} = 490\ kN.m$	العلاقة (5-11)
– بما أن الأحمال تساعد في عدم استقرار الجائز فإن معامل عزم الانعطاف المنتظم المكافئ $m_{LT} = 1.0$ – إن جزء الجائز الواقع بين AB غير آمن ضد تحنيب الفتل الجانبي لأن:	
$M_x = 585 > M_b / m_{LT} = 490/1.0$ لذ لا بد من تأمين قيد جانبي اضافي في المجاز AB على الأقل.	العلاقة (5-16)

الفصل السادس

الجوائز الصفائحية

Plate Girders

6-1 مقدمـة

تستخدم الجوائز الصفائحية كي تغطي مجازات كبيرة وتحمل أحمالاً شاقوليةً ثقيلة لا يمكن حملها بواسطة عناصر مدرفلة على الحامي. لذلك تصنع الجوائز الصفائحية بأبسط أشكالها من صفيحة لكل جناح تُلحمان إلى صفيحة الجسد لتشكل مجتمعة مقطعاً على شكل I بحيث يكون العمل الأساسي لصفيحتي الجناحين هو تحمّل قوى ضغط أو شد ناجمة عن عزم الانعطاف. أما صفيحة الجسد فعملها الرئيسي هو تحمّل قوى القص. لتخفيض مساحة الجناحين اللذين يتحملان عزم انعطاف محدد لا بد من زيادة المسافة بينهما، وبالتالي سيزداد ارتفاع صفيحة الجسد مما سيزيد الوزن الذاتي للمقطع. وللمحافظة على الوزن بحدوده الدنيا يجب تخفيض سماكة الجسد كلما زاد ارتفاعه ولهذا يجب أن يدرس تحنيب جسد الجائز الصفائحي بعناية أكبر مما هو معتاد في المقاطع المدرفلة.

6-2 الاختيار الأولي لأبعاد المقطع

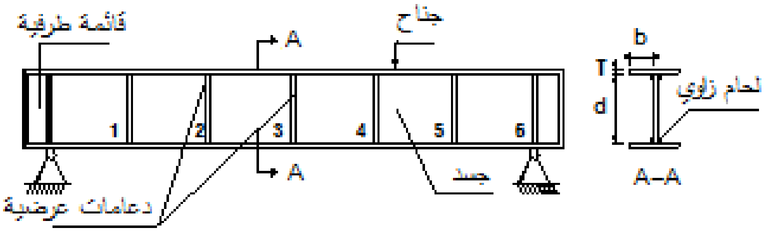
يبين الجدول التالي نسبة المجاز إلى ارتفاع مقطع الجائز الموصى بها في الجوائز الصفائحية المستخدمة في الأبنية.

يجب أن يتم اختيار سماكة صفيحة الجسد بعناية فائقة مع الأخذ بالحسبان عدد وشكل المدعّمات المستخدمة لتدعيم الجسد. فاعتماد سماكة قليلة جداً للجسد سيؤدي إلى زيادة عدد المدعّمات وبالتالي التوفير الزائد في مادة الجسد قد ينعكس زيادة في المادة المطلوب استخدامها في المدعّمات. وفي كل الأحوال تتغير سماكة الجسد بين 10

mm للجوائز ذات العمق حتى 120 cm و 20 mm للجوائز ذات العمق حتى 250 cm.

نسبة المجاز إلى الارتفاع	مجال الاستخدام
12 – 20	* جائز ذو استناد بسيط ثابت الارتفاع يحمل بلاطة خرسانية يعمل كجائز مركّب أو غير مركّب.
15 – 20	* جائز مستمر ثابت الارتفاع يحمل بلاطة خرسانية يعمل كجائز غير مركّب.
10 - 15	* جائز حامل للرافعة ذو استناد بسيط.

إن نسبة نحافة صفيحة الجسد d/t التي يصبح عندها الجسد عرضة لتحنيب القص هي 62ε. فعندما تكون $d/t \leq 62\varepsilon$ فلن يحنب الجسد وستكون مبادئ تصميم الجوائز الصفائحية مماثلة لنظيرتها في الجوائز ذات المقاطع المدرفلة. ولكن لأسباب اقتصادية تؤخذ $d/t > 62\varepsilon$ ولهذا لا بد من دراسة تحنيب صفيحة الجسد الناتج عن القص. ويمكن رفع مقاومة الجسد النحيف للتحنيب باستخدام مدعّمات عرضية كما في الشكل (1-6) وقلما تستخدم مدعّمات طولية في حالة الأبنية.



الشكل (1-6) واجهة جائز صفائحي نموذجي

ولمراعاة ظروف الاستثمار كتلك المتعلقة بمنع تحنيب الجسد الناجم عن الحمل والتركيب حدد الكود BS 5950 السماكة الدنيا للجسد وفق الحالات التالية:

* $t \geq d/250$ عندما يكون الجسد غير مدعم.

* $t \geq d/250$ عندما يكون الجسد مدعّماً عرضياً و $a > d$ حيث a التباعد بين المدعّمات
* $t \geq (d/250)(a/d)^{1/2}$ عندما يكون الجسد مدعّماً عرضياً و $a \leq d$

ولمنع تحنيب الجناح داخلاً في الجسد حدد الكود BS 5950 السماكة الدنيا للجسد وفق الحالات التالية:

* $t \geq (d/250)(p_{yf}/345)$ عندما يكون الجسد غير مدعّم حيث p_{yf} المقاومة التصميمية لفولاذ الجناح.
* $t \geq (d/250)(p_{yf}/345)$ عندما يكون الجسد مدعّماً عرضياً و $a > 1.5\,d$
* $t \geq (d/250)(p_{yf}/445)^{1/2}$ عندما يكون الجسد مدعّماً عرضياً و $a \leq 1.5\,d$

حيث $t,\ d,\ a$ هي المسافة بين المدعمات وارتفاع وسماكة الجسد على الترتيب.

إن تغيير أبعاد الجناحين على طول الجائز لا يجدي نفعاً كثيراً في حالة الأبنية. ويؤخذ عرض الجناح عادةً في الجوائز غير المركّبة بين % 50 − % 30 من ارتفاع الجائز، ومن المهم أن يتم اختيار أبعاد صفيحة الجناح بحيث تكون نصف مدمجة على الأقل وذلك لتجنب تحنيب الجناح موضعياً ويمكن تحقيق ذلك بالالتزام بنسبة العرض إلى السماكة المنصوص عليها في الجدول (2-2)، أي $b/T \leq 13\,\varepsilon$.

قلّما تُستخدم المدعّمات الطولية في الجوائز الصفائحية في الأبنية وتستخدم المدعّمات العرضية بالقرب من المساند لرفع مقاومة الجائز للقص. وفي كثير من الأحيان لا تستخدم المدعّمات العرضية بعيداً عن المساند نظراً لانخفاض شدة القص. وفي كل الأحوال إن استخدام المدعّمات العرضية يرفع مقاومة الجسد إلى مايزيد عن إجهاد القص الحرج q_{cr} (الإجهاد الذي يبدأ عنده التحنيب) وذلك بسبب نشوء ما يسمى حقل الشد حيث يقوم اللوح (panel) المتشكل بين مدعّمتين متتاليتين والجناحين ببذل مقاومة إضافية للقص وذلك من خلال نشوء إجهادات شادة قطرية يتم مقاومتها بالمدعمات الشاقولية والجناحين. توزع المدعّمات العرضية بحيث تكون النسبة(a/d)

لألواح الجسد المتشكلة بين 2.0 – 1.0 وعندما لا يستخدم فعل حقل الشد في تصميم اللوح الطرفي فإن النسبة (a/d) لهذا اللوح تُخفض إلى بين 1.0 – 0.6. وأحياناً عند المساند تستخدم مدعمة مزدوجة كمدعمة تحمّل لتشكل قائمة (دعامة) طرفية. ويحدد بروز الجائز بعد المسند الطرفي بحيث لا يزيد عن ثُمن ارتفاع مقطعه.

6-3 تصميم الجوائز الصفائحية Design of plate girders

تتعرض مقاطع الجوائز الصفائحية إلى تراكب في فعل قوى القص وعزوم الانعطاف، ولهذا سمح الكود BS 5950 بتصميمها وفق إحدى الطرق التالية:

1) أن يتم مقاومة عزم الانعطاف بالجناحين فقط وأن يتم مقاومة القص بالجسد.
2) أن يتم مقاومة عزم الانعطاف بالمقطع كاملاً وأن يتم تصميم الجسد ليقاوم الإجهادات القاصّة والناظمية.
3) أن يتم مقاومة جزء من الحمل بالطريقة (1) وأن يتم مقاومة الجزء المتبقي بالطريقة (2).

إن فصل تأثيري العزم والقص كما في الطريقة (1) يؤدي إلى تبسيط كبير وإلى فهم أكبر للآلية التي يقاوم فيها المقطع الأحمال المطبّقة. وعلى الرغم من أن هذه الطريقة محافظة قليلاً لكنها الأكثر تطبيقاً في كثير من الكودات ولذلك سنقوم بشرحها بالتفصيل في الفقرات التالية:

6-3-1 طاقة تحمّل العزم Moment capacity

تحدد طاقة تحمّل العزم الكلّية M_c لجائز صفائحي ممنوع من الإنتقال الجانبي بناءً على احتمال حصول تحنيب قص للجسد. إذا لم يكن حصول هذا التحنيب ممكناً $(d/t \le 62\,\varepsilon)$ فتحدد طاقة تحمل العزم كما جاء في الفقرة (3-5). أما إذا كان ذلك ممكناً فتحدد طاقة تحمل العزم بعد أخذ التأثير المتبادل بين العزم والقص بالحسبان كما يلي:

1) حالة قص منخفض

إذا كان القص منخفضاً تحدد طاقة تحمّل العزم الكلّية M_c وفقاً للعلاقات (5-2,3,4) حسب تصنيف المقطع. ويُعد القص منخفضاً إذا كان $(F_v \le 0.6V_w)$ حيث F_v القص المطبق و V_w طاقة تحمل تحنيب القص المحددة بالعلاقة (6-3).

2) حالة قص مرتفع

إذا كان القص مرتفعاً $(F_v > 0.6V_w)$ وكان الجناحان غير نحيفين فتحدد طاقة تحمّل العزم الكلّية M_c بالاعتماد على طاقة التحمّل اللدنة لصفيحتي الجناحين وفق العلاقة التالية:

$$M_c = p_{yf}\, S_{xf} \qquad (6\text{-}1)$$

حيث p_{yf} المقاومة التصميمية لصفيحة الجناح وتحدد من الجدول (2-1).

S_{xf} معامل المقطع اللدن للجناحين فقط حول محور المقطع.

6-3-2 طاقة تحمّل القص Shear capacity

إذا لم يكن جسد المقطع عرضة لتحنيب القص $d/t \le 62\,\varepsilon$ فيُحدد تحمل القص كما جاء في الفقرة (5-2) أي وفق العلاقة التالية:

$$P_v = 0.6\, p_{yw} A_v = 0.6\, p_{yw} td \qquad (6\text{-}2)$$

حيث p_{yw} المقاومة التصميمية للجسد

أما إذا كان جسد المقطع عرضة لتحنيب القص فيمكن اعتماد احدى الطريقتين التاليتين:

1) الطريقة المبسطة

تحدد طاقة تحمل تحنيب القص V_b في حال وجود أو عدم وجود مدعمات عرضية بالعلاقة (6-3)

$$V_b = V_w = dtq_w \qquad (6\text{-}3)$$

حيث q_w مقاومة الجسد لتحنيب القص في مرحلة ما بعد التحنيب post-critical وتحدد من الجدول (6-1)

2) الطريقة الدقيقة

تحدد طاقة تحمل تحنيب القص V_b للوح بين مدعمتين عرضيتين من جسد جائز صفائحي طبقاً لإحدى الحالتين التاليتين:

- تحدد طاقة تحمل تحنيب القص وفقاً للعلاقة (6-3) عندما يكون جناحا المقطع العرضي مجهدين تماماً ($f_f = p_{yf}$ حيث f_f متوسط الإجهادات الطولية في الجناح الصغرى)
- أما إذا لم يكن جناحا المقطع العرضي مجهدين تماماً ($f_f < p_{yf}$) فتحدد طاقة تحمل تحنيب القص بالعلاقة (6-4)

$$V_b = V_w + V_f \le P_v = 0.6\, p_{yw} t d \qquad (6\text{-}4)$$

حيث V_f طاقة تحمل تحنيب القص المعتمدة على الجناحين وتحدد بالعلاقة (6-5)

$$V_f = \frac{P_v (d/a)\left[1-(f_f/p_{yf})^2\right]}{1+0.15(M_{pw}/M_{pf})} \qquad (6\text{-}5)$$

حيث M_{pf} العزم اللدن الذي تتحمله الجناح الصغرى حول محور مارّ في مركز ثقلها وموازٍ للجناح نفسه ويعطى بالعلاقة (6-6)

$$M_{pf} = (2b+t)T^2\, p_{yf}/4 \qquad (6\text{-}6)$$

M_{pw} العزم اللدن الذي يتحمله الجسد حول محور مارّ في مركز ثقله وعمودي عليه ويعطى بالعلاقة (6-7)

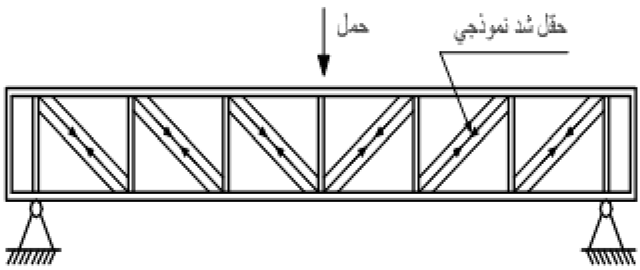
$$M_{pw} = t d^2 p_{yw}/4 \qquad (6\text{-}7)$$

يجدر الملاحظة أنه عندما تكون الإجهادات الطولية f_f في الجناح قريبة من p_{yf} فإن V_f تكون صغيرة وبالتالي ستكون مساهمة الجناح في مقاومة القص صغيرة.

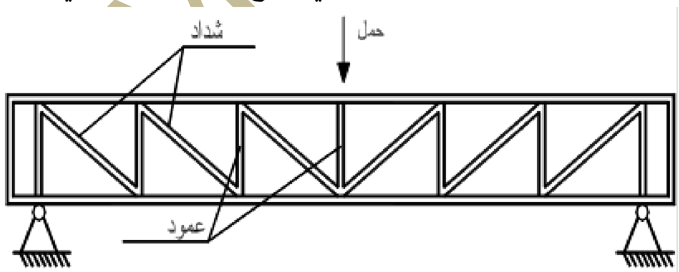
6-3-3 الإرساء عند الأطراف End anchorage

تزداد طاقة تحمّل القص باستخدام المدعّمات العرضية حيث تزداد q_w مع نقصان النسبة a/d لأنه يتم الاستفادة من طاقة تحمّل اللوح بعد الوصول إلى مرحلة التحنيب

الحرجة، ولهذا مكّن استخدام المدعّمات العرضية الجائز من تحمّل قوى أعلى بكثير من مقاومته محسوبة طبقاً لنظريات تحنيب القص المرن وذلك بسبب نشوء ما يسمى حقل الشد (tension field). فما إن يحنّب لوح من جسد جائز صفائحي حتى تهمل طاقة تحمّله لأية إجهادات ضغط قطرية إضافية ويعتبر عندها أن ميكانيكية جديدة لتحمّل القوى قد نشأت حيث يتم مقاومة أي قص إضافي بحقل إجهادات شادة غشائية مائلة كما هو مبين في الشكل (6-2a). وتصبح الطريقة التي يقاوم بها الجائز الصفائحي القوى الخارجية مشابهة لعمل جائز شبكي على شكل حرف (N) كما في الشكل (6-2b) حيث تشبه المقاومة التي تقوم بها صفائح الجسد فعل قضبان الشد القطرية في الجائز الشبكي.



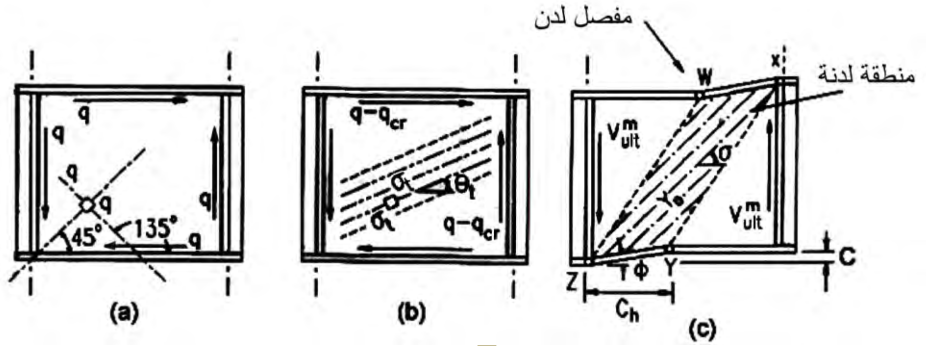
الشكل (6-2a) حقل الشد في ألواح الجائز الصفائحي



الشكل (6-2b) جائز شبكي على شكل (N)

بناءً على ما تقدم يمكن تقسيم تصرف الجائز الصفائحي مع ازدياد قوى القص إلى مراحل ثلاثة مبينة في الشكل (6-3).

- المرحلة الأولى: كما في الشكل (6-3a) حيث يتعرض اللوح إلى إجهادات ضغط وشد رئيسية متساوية ولم يصل الجائز بعدُ إلى مرحلة التحنيب.
- المرحلة الثانية: كما في الشكل (6-3b) حيث نشأ حقل شد في مرحلة ما بعد التحنيب.
- المرحلة الثالثة: كما في الشكل (6-3c) حيث وصل الجسد إلى مرحلة السيلان وتشكل أربعة مفاصل لدنة في الجناحين ونشأت ميكانيكية انهيار.



الشكل (6-3) مراحل تصرف لوح نموذجي تحت تأثير القص حتى الانهيار

تحدد طاقة تحمل القص الحرج التي يحدث عندها التحنيب بالعلاقات التالية:

$$V_{cr} = P_v \qquad \text{if} \qquad V_w = P_v \qquad (6\text{-}8a)$$

$$V_{cr} = (9V_w - 2P_v)/7 \qquad \text{if} \qquad P_v > V_w > 0.72P_v \qquad (6\text{-}8b)$$

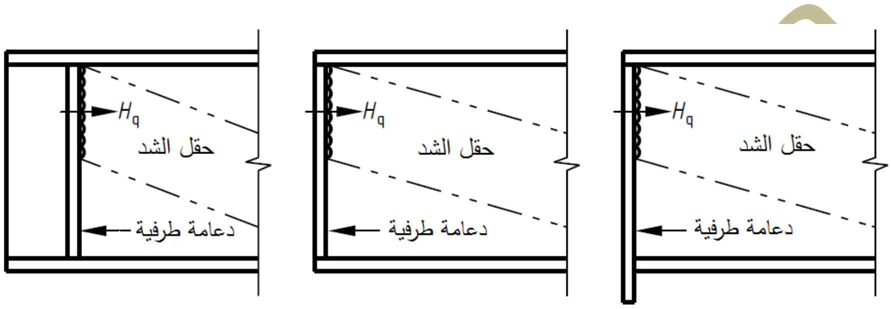
$$V_{cr} = (V_w/0.9)^2/P_v \qquad \text{if} \qquad V_w \le 0.72P_v \qquad (6\text{-}8c)$$

حيث P_v طاقة تحمل القص و V_w طاقة تحمل تحنيب القص المحددتين بالعلاقتين (6-2) و (6-3) على الترتيب.

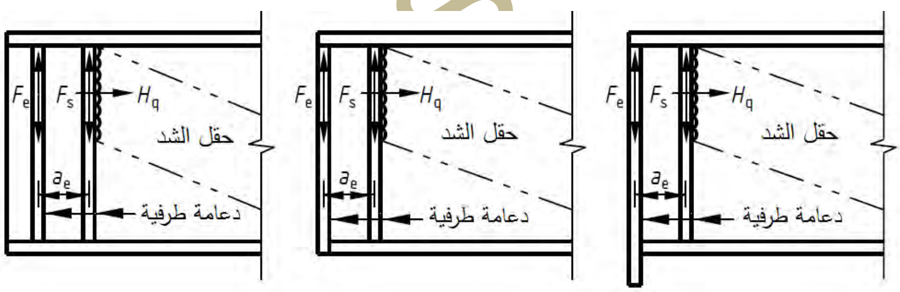
يجب الانتباه إلى أن حقل الشد في لوح ما لا ينشأ إلا إذا توفر إرساء له من قبل العناصر المحددة للوح، وهذا يوضح المشكلة التي تطرأ عادة في اللوح الطرفي من الجائز حيث يجب أن تؤمّن الدعامة الطرفية بمفردها هذا الإرساء. وتنتفي الحاجة إلى الإرساء إذا كان طاقة تحمل تحنيب القص تساوي طاقة تحمل القص أو كان القص المطبق اقل من طاقة تحمل القص الحرج أي عندما يتحقق أي من الشرطين التاليين:

$$V_w = P_v \qquad \text{أو} \qquad F_v \leq V_{cr} \qquad\qquad (6\text{-}9a,b)$$

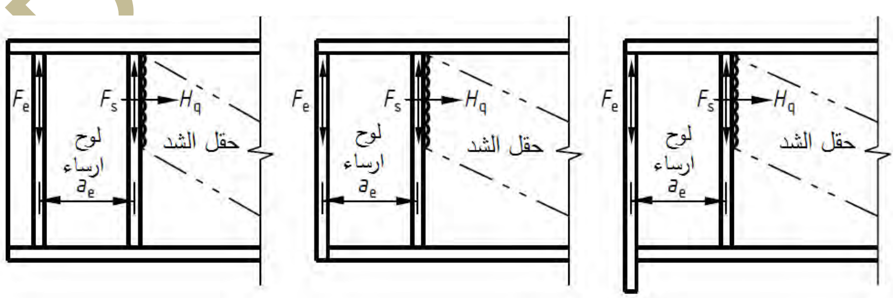
وفي بقية الحالات لابد من تأمين ارساء للمركبة الطولية لحقل الشد H_q . ويتم هذا الإرساء بدعامة (قائمة) مكونة من مدعمة عرضية مفردة أو مزدوجة في طرف الجائز الذي لا يحتوي على مدعمات عرضية كما في الشكلين (6-4a,b) أو من خلال لوح طرفي عندما يكون جسد الجائز مزوداً بمدعمات عرضية كما في الشكل (6-4c).



الشكل (6-4a) دعامة تتكون من مدعمة عرضية مفردة



الشكل (6-4b) دعامة تتكون من مدعمة عرضية مزدوجة



الشكل (6-4c) لوح ارساء طرفي

يقترح الكود BS 5950 أن تُحسب H_q بالعلاقة (6-10) إذا كان جسد المقطع محملاً تماماً بالقص ($F_v \geq V_w$) وبالعلاقة (6-11) إذا لم يكن الجسد محملاً تماماً بالقص

$$H_q = 0.5\, dt\, p_{yw} (1 - \frac{V_{cr}}{P_v})^{1/2} \qquad (6\text{-}10)$$

$$H_q = 0.5\, dt\, p_{yw} (\frac{F_v - V_{cr}}{V_w - V_{cr}})(1 - \frac{V_{cr}}{P_v})^{1/2} \qquad (6\text{-}11)$$

وبناءً على ذلك يسمح الكود أن تصمم الدعامات الطرفية و لوح الإرساء الطرفي كما يلي:

1) دعامة طرفية مكونة من مدعمة مفردة

يجب أن تصمم الدعامة الطرفية المكونة من مدعمة مفردة (الشكل 6-4a) لمقاومة رد فعل الجائز الصفائحي بالإضافة إلى عزم انعطاف في مستوي الجسد M_{tf} ناتج عن قوة الإرساء H_q

$$M_{tf} = 0.15 H_q\, d \qquad (6\text{-}12)$$

ويمكن تخفيض M_{tf} إلى $0.1 H_q\, d$ إذا تم وصل المدعمة إلى جناحي الجائز بلحام كامل المقاومة وكان عرضها وسماكتها ليسا أكثر من من عرض وسماكة جناح الجائز

2) دعامة طرفية مكونة من مدعمتين

عند تصميم الدعامة الطرفية المكونة من مدعمتين (الشكل 6-4b) يجب أن لا يتجاوز القص فيها R_{tf} (الناتج عن الإرساء H_q في اللوح الطرفي) طاقة تحمل القص الحرج $V_{cr.ep}$ لجسد الدعامة الطرفية، أي:

$$R_{tf} = 0.75\, H_q \leq V_{cr.ep} \qquad (6\text{-}13)$$

حيث $V_{cr.ep}$ طاقة تحمل القص الحرج لجسد الدعامة الطرفية باعتبارها كجائز يمتد بين جناحي الجائز الصفائحي

ويجب تصميم المدعمة الطرفية لمقاومة قوة ضغط F_e ناتجة عن رد فعل الجائز الصفائحي مضافاً إليها قوة F_{tf} ناتجة عن قوة الإرساء

$$F_{tf} = 0.15\, H_q (\mathrm{d/a_e}) \qquad (6\text{-}14)$$

حيث a_e المسافة بين مركزي المدعمتين

أما المدعمة الثانية فيجب أن تُصمم لمقاومة قوة ضغط F_s ناتجة عن رد فعل الجائز الصفائحي مع اهمال القوة F_{tf} الناتجة عن قوة الإرساء. وفي حال $F_{tf} > F_s$ يجب تحقيق هذه المدعمة على قوة شد $(F_{tf} - F_s)$

3) لوح الإرساء

يجب أن يحقق لوح الإرساء (الشكل 6-4c) مايلي:

$$F_v \leq V_{cr} \qquad (6\text{-}15)$$

$$R_{tf} = 0.75\, H_q \leq V_{cr.ep} \qquad (6\text{-}16)$$

حيث R_{tf} قوة القص في لوح الإرساء الناتجة عن قوة الإرساء H_q في اللوح المجاور للوح الإرساء

$V_{cr.ep}$ طاق ة تحمل القص الحرج لجسد لوح الإرساء باعتباره كجائز يمتد بين جناحي الجائز الصفائحي

ويجب تصميم المدعمة الطرفية لمقاومة قوة ضغط F_e ناتجة عن رد فعل الجائز الصفائحي مضافاً إليها قوة F_{tf} ناتجة عن قوة الإرساء

$$F_{tf} = 0.15\, H_q (\mathrm{d/a_e}) \qquad (6\text{-}17)$$

حيث a_e المسافة بين مركزي المدعمتين

أما المدعمة الثانية فيجب أن تُصمم لمقاومة قوة ضغط F_s ناتجة عن رد فعل الجائز الصفائحي مع اهمال القوة F_{tf} الناتجة عن قوة الإرساء. وفي حال $F_{tf} > F_s$ يجب تحقيق هذه المدعمة على قوة شد $(F_{tf} - F_s)$

6 -3- 4 تصميم المدعّمات Design of stiffeners

إذا بينت التحقيقات أن جسد المقطع بمفرده غير كافٍ، يجب استخدام المدعّمة المناسبة لمنع حدوث أي من الحالات التالية:

* تحنيب الجسد موضعياً نتيجة الأحمال المركّزة.

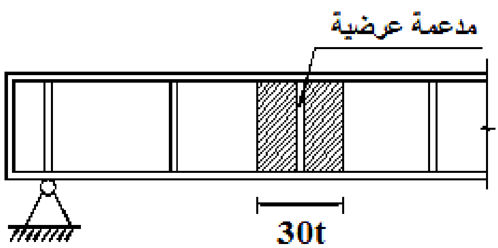
* تحطم الجسد موضعياً نتيجة الأحمال المركّزة.
* تحنيب الجسد النحيف الناتج عن القص.

وعليه تقسم المدعّمات العرضية إلى الأقسام الثلاث التالية:

6-3-4-1 مدعّمات لحمل القوى المطبّقة Load–carrying stiffeners

يستخدم هذا النوع من المدعّمات لمنع تحنيب الجسد موضعياً تحت تأثير الأحمال المركّزة أو ردود الأفعال المطبّقة عبر الجناح، لذا يوصي الكود باستخدام مدعّمات عرضية عندما تكون مقاومة الجسد بمفرده للتحنيب الموضعي غير كافية. وتحسب مقاومة الجسد للتحنيب الموضعي وفقاً للفقرة (2-6-5). ويجب تحقيق المدعّمة كأي عنصر مضغوط على التحنيب وعلى التحمّل.

عند تحقيق المدعّمة على التحنيب يؤخذ عرض فعّال من الجسد بطول 15t على طرفي محور المدعّمة ليعمل مع المدعّمة كمقطع مشترك مضغوط كما في الشكل (6-7) وعندها يحسب نصف قطر العطالة حول محور موازٍ للجسد. ويؤخذ الطول الفعّال لهذا العنصر المضغوط مساوياً % 70 من طول المدعّمة الحقيقي عندما يكون الجناح ممنوعاً من الدوران في مستوي المدعّمة. وإذا لم يكن الجناح ممنوعاً تماماً من الدوران فيؤخذ الطول الفعّال مساوياً للطول الحقيقي وتستخرج مقاومة الضغط p_c من الجدول (4-3c) بدلالة نسبة النحافة للمقطع المشترك حول محور الجسد والمقاومة التصميمية المستخرجة من الجدول (2-1) للجسد أو للمدعّمة أيهما أصغر. وعليه تحدد مقاومة التحنيب للعنصر المضغوط المكون من المدعمة وجزء الجسد كما في حالة الأعمدة العادية.



الشكل (6-7) جزء الجسد الذي يعمل مع المدعمة

6-3-4-2 مدعّمات تحمّل Bearing stiffeners

يستخدم هذا النوع من المدعّمات لمنع تحطم الجسد موضعياً تحت تأثير الأحمال المركّزة أو ردود الأفعال المطبّقة عبر الجناح، لذا يوصي الكود باستخدام مدعّمات عرضية عندما تكون طاقة تحمل الجسد بمفرده للدهس (للتحمّل) الموضعي P_{bw} غير كافية وتحسب مقاومة الجسد للتحمّل الموضعي وفقاً للفقرة (5-6-1).

يجب تصميم المدعّمة لتتحمل القوى المطبّقة مطروحاً منها طاقة تحمّل الجسد محسوبة وفق العلاقة (5-19).

6-3-4-3 المدعّمات العرضية الوسطية Intermediate transverse stiffeners

تستخدم المدعّمات العرضية الوسطية لرفع كفاءة الجسد لمقاومة التحنيب الناجم عن القص، وتحدد مواقع هذه المدعّمات والمسافة بينها وفقاً لذلك وبشكل أولي توزع وفقاً للفقرة (6-2). وقد أوصى الكود أن لا يزيد عرض المدعّمة عن $19\,t_s\varepsilon$ وأن لا يزيد العرض المستخدم في حساب مقطعها الفعّال عن $13\,t_s\varepsilon$

وعندما تكون المدعمة غير معرضة لحمل أو عزم خارجي يجب أن لا يقل عزم عطالتها I_s حول محور الجسد عن:

$$I_s \geq 0.75\,dt_{\min}^3 \quad \text{عندما} \quad a \geq d\sqrt{2} \qquad (6\text{-}18)$$

$$I_s \geq 1.5\,d^3 t_{\min}^3 / a^2 \quad \text{عندما} \quad a < d\sqrt{2} \qquad (6\text{-}19)$$

حيث $t_{\min}$ سماكة جسد الجائز الدنيا المطلوبة من مسافة بين المدعّمات قدرها a.

t_s سماكة المدعّمة.

$\varepsilon = (275/p_{y_s})^{1/2}$ ، p_{y_s} المقاومة التصميمية للمدعّمة.

وعندما تكون المدعّمة معرّضة لقوى جانبية أو عزوم ناتجة عن أحمال غير مركزية بالنسبة للجسد، يجب زيادة عزم عطالتها المبين سابقاً بـ :

* $2\,F_h D^3/Et$ في حالة القوى الجانبية.
* $F_x\,e_x D^2/Et$ في حالة القوى الخارجية المطبقة لامركزياً.

حيث: D ارتفاع المقطع الكلي، E معامل المرونة.

F_h القوة الجانبية المصعّدة المطبّقة على الجناح المضغوط التي يجب مقاومتها بالمدعّمة.

F_x القوة الخارجية المطبقة لامركزياً بالنسبة للجسد.

e_x اللامركزية

يجب تحقيق تحنيب المدعّمة كما يلي:

(1) المدعّمات غير المعرضة لأحمال أو عزوم خارجية.

يجب أن لا تتجاوز القوة F_q التي تتعرض لها المدعّمة القوة التي تؤدي إلى تحنيبها P_q أي:

$$F_q = V - V_{cr} \leq P_q \qquad (6\text{-}20)$$

حيث: P_q طاقة تحمل المدعمة على التحنيب وتحدد كما في الفقرة (6-4-3-1) مع اعتبار الطول الفعال للمدعمة يساوي 70% من المسافة الصافية بين الجناحين

V قوة القص الأعظمية التي يتعرض له اللوح المجاور للمدعمة.

V_{cr} قوة القص الحرج للوح المجاور للمدعّمة الذي تم فيه حساب V.

P_q طاقة تحمّل المدعّمة الوسطية على التحنيب وتُحدَّد باعتبار طول التحنيب مساوياً 70% من طولها الفعلي.

(2) المدعّمات المعرضة لأحمال أو عزوم خارجية :

يجب أن تحقق شروط المدعّمات الحاملة لقوى خارجية المنصوص عليها في الفقرة (6-4-3-1) إضافة إلى علاقة الترابط التالية:

$$\frac{F_q - F_x}{P_q} + \frac{F_x}{P_x} + \frac{M_s}{M_{ys}} \leq 1 \qquad (6\text{-}21)$$

حيث F_x القوة المطبقة الخارجية

P_x طاقة تحمّل المدعّمة على التحنيب باعتبار أنها ستقوم بحمل قوى خارجية

M_{ys} طاقة تحمّل المدعّمة للعزوم بناءً على العزم المقاوم المرن لمقطعها.

M_s العزم المطبّق على المدعّمة الناتج عن الأحمال االخارجية غير المركزية والأحمال الجانبية ويحدد بالعلاقة التالية:

$$M_s = F_x e_x + F_h D \qquad (6\text{-}22)$$

يتم شطب الحد الأول من العلاقة (6-21) إذا كان $F_q \le F_x$

6-3-4-4 اتصال المدعّمات الوسطية بجسد المقطع

عندما لا تكون المدعّمة الوسطية معرّضة إلى قوى خارجية فيجب أن يتحمّل اللحام بين أي من صفيحتي المدعّمة والجسد قوة قاصة مقدّرة بـ kN/mm من طول اللحام لا تقل عن $t^2/5b_s$. حيث t سماكة الجسد مقدّرة بـ mm و b_s بروز المدعّمة (عرضها) مقدراً بـ mm .

أما عندما تكون المدعّمة الوسطية خاضعة لقوة خارجية فيجب إضافة القص الناتج عنها إلى القيمة السابقة.

6-3-5 تحقيق الجسد بين المدعّمات

عندم يزيد إجهاد الضغط (f_{ed}) الناتج عن الأحمال الخارجية أو ردود الأفعال المطبّقة مباشرةً عبر الجناح وصولاً إلى طرف الجسد على مقاومة الضغط p_{ed} يجب اضافة مدعمة لحمل الأحمال

ويتم حساب f_{ed} بقسمة الأحمال المركّزة على البعد الصغير للوح (a أو d)، ويضاف إلى ذلك أي حمل آخر موزّع بانتظام. ويقسم الناتج على سماكة اللوح.

و تُحسب p_{ed} وفق إحدى الحالتين التاليتين:

- عندما تكون الجناح المضغوطة ممنوعة من الدوران بالنسبة للجسد.

$$p_{ed} = \left[2.75 + \frac{2}{(a/d)^2}\right]\frac{E}{(d/t)^2} \qquad (6\text{-}23)$$

- وعندما تكون الجناح المضغوطة غير ممنوعة تماماً من الدوران بالنسبة للجسد.

$$p_{ed} = \left[1.0 + \frac{2}{(a/d)^2}\right]\frac{E}{(d/t)^2} \qquad (6\text{-}24)$$

Shear buckling strength of a web q_w (N/mm^2) الجدول (6-1) مقاومة الجسد لتحنيب القص

ماركة الفولاذ S275 بسماكة ≥ 16 mm المقاومة التصميمية $p_y = 275\ N/mm^2$

d/t	نسبة تباعد المدعمات a/d														
	0.4	**0.5**	**0.6**	**0.7**	**0.8**	**0.9**	**1.0**	**1.2**	**1.4**	**1.6**	**1.8**	**2.0**	**2.5**	**3.0**	**∞**
55	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165
60	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165
65	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	161
70	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	164	162	160	158	155
75	165	165	165	165	165	165	165	165	163	160	158	156	154	152	148
80	165	165	165	165	165	165	165	162	157	154	152	150	147	146	142
85	165	165	165	165	165	165	162	156	152	149	146	144	141	139	135
90	165	165	165	165	165	163	157	151	146	143	140	138	135	133	128
95	165	165	165	165	165	158	152	146	141	137	134	132	129	127	122
100	165	165	165	165	160	154	147	140	135	131	128	126	123	120	116
105	165	165	165	164	156	149	142	135	129	125	122	120	117	115	110
110	165	165	165	160	152	144	137	130	124	120	117	115	111	109	105
115	165	165	165	156	147	139	132	124	118	114	112	110	106	105	101
120	165	165	163	152	143	135	128	119	113	110	107	105	102	100	96
125	165	165	159	148	139	130	123	114	109	105	103	101	98	96	92
130	165	165	156	145	134	125	118	110	105	101	99	97	94	93	89
135	165	165	152	141	130	121	113	106	101	97	95	93	91	89	86
140	165	162	149	137	126	116	109	102	97	94	92	90	87	86	83
145	165	159	145	133	121	112	105	98	94	91	88	87	84	83	80
150	165	156	142	129	117	109	102	95	91	88	86	84	82	80	77
155	165	153	138	125	113	105	99	92	88	85	83	81	79	78	75
160	165	150	135	121	110	102	96	89	85	82	80	79	76	75	72
165	165	147	131	117	107	99	93	86	82	80	78	76	74	73	70
170	162	144	128	114	103	96	90	84	80	77	75	74	72	71	68
175	160	141	124	110	100	93	87	81	78	75	73	72	70	69	66
180	157	138	121	107	98	90	85	79	76	73	71	70	68	67	64
185	155	135	117	104	95	88	83	77	73	71	69	68	66	65	62
190	152	132	114	102	93	86	80	75	72	69	68	66	64	63	61
195	150	129	111	99	90	84	78	73	70	67	66	65	63	62	59
200	147	126	109	97	88	81	76	71	68	66	64	63	61	60	58
205	145	123	106	94	86	79	75	70	66	64	63	61	60	59	56
210	142	120	103	92	84	78	73	68	65	63	61	60	58	57	55
215	140	117	101	90	82	76	71	66	63	61	60	59	57	56	54
220	137	115	99	88	80	74	70	65	62	60	58	57	56	55	53
225	135	112	97	86	78	72	68	63	60	58	57	56	54	53	51
230	132	110	94	84	76	71	66	62	59	57	56	55	53	52	50
235	130	107	92	82	75	69	65	61	58	56	55	54	52	51	49
240	128	105	90	80	73	68	64	59	57	55	53	52	51	50	48
245	125	103	89	79	72	66	62	58	55	54	52	51	50	49	47
250	123	101	87	77	70	65	61	57	54	53	51	50	49	48	46

(تابع) الجدول (1-6) مقاومة الجسد لتجنيب القص q_w (N/mm²)

ماركة الفولاذ S 275 - 16 mm < السماكة ≤ 40 mm - المقاومة التصميمية p_y = 265 N/mm²															
d/t	نسبة تباعد المدعمات *a/d*														
	0.4	**0.5**	**0.6**	**0.7**	**0.8**	**0.9**	**1.0**	**1.2**	**1.4**	**1.6**	**1.8**	**2.0**	**2.5**	**3.0**	**∞**
55	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159
60	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159
65	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	157
70	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	158	156	154	151
75	159	159	159	159	159	159	159	159	159	156	154	152	150	148	145
80	159	159	159	159	159	159	159	157	153	150	148	147	144	142	138
85	159	159	159	159	159	159	158	152	148	145	143	141	138	136	132
90	159	159	159	159	159	158	153	147	143	139	137	135	132	130	126
95	159	159	159	159	159	154	149	142	137	134	131	129	126	124	120
100	159	159	159	159	156	150	144	137	132	128	126	124	120	118	113
105	159	159	159	159	152	145	139	132	127	123	120	118	114	112	108
110	159	159	159	156	148	141	134	127	121	117	114	112	109	107	103
115	159	159	159	152	144	136	130	122	116	112	110	108	104	103	99
120	159	159	158	149	140	132	125	117	111	108	105	103	100	98	95
125	159	159	155	145	136	127	120	112	107	103	101	99	96	94	91
130	159	159	152	141	132	123	116	108	103	99	97	95	92	91	87
135	159	159	148	137	127	119	111	104	99	96	93	92	89	87	84
140	159	158	145	134	123	114	107	100	95	92	90	88	86	84	81
145	159	155	142	130	119	110	104	97	92	89	87	85	83	81	78
150	159	152	139	126	115	107	100	93	89	86	84	82	80	79	76
155	159	149	135	122	111	103	97	90	86	83	81	80	77	76	73
160	159	147	132	119	108	100	94	87	83	81	79	77	75	74	71
165	159	144	129	115	105	97	91	85	81	78	76	75	73	72	69
170	158	141	125	112	102	94	88	82	78	76	74	73	71	69	67
175	156	138	122	108	99	91	86	80	76	74	72	71	69	67	65
180	153	135	119	105	96	89	83	78	74	72	70	69	67	66	63
185	151	132	115	102	93	86	81	76	72	70	68	67	65	64	61
190	149	129	112	100	91	84	79	74	70	68	66	65	63	62	60
195	146	127	109	97	89	82	77	72	68	66	65	63	62	61	58
200	144	124	107	95	86	80	75	70	67	65	63	62	60	59	57
205	141	121	104	92	84	78	73	68	65	63	61	60	59	58	55
210	139	118	102	90	82	76	71	67	64	61	60	59	57	56	54
215	137	115	99	88	80	74	70	65	62	60	59	58	56	55	53
220	134	112	97	86	78	73	68	64	61	59	57	56	55	54	52
225	132	110	95	84	77	71	67	62	59	57	56	55	53	52	50
230	130	108	93	82	75	70	65	61	58	56	55	54	52	51	49
235	127	105	91	81	73	68	64	60	57	55	54	53	51	50	48
240	125	103	89	79	72	67	63	58	56	54	52	52	50	49	47
245	123	101	87	77	70	65	61	57	54	53	51	50	49	48	46
250	120	99	85	76	69	64	60	56	53	52	50	49	48	47	45

(تابع الجدول (6-1) مقاومة الجسد لتحنيب القص) q_w (N/mm²)

ماركة الفولاذ S 355 – السماكة ≤ 16 mm – المقاومة التصميمية p_y = 355 N/mm²															
d/t	نسبة تباعد المدعمات a/d														
	0.4	**0.5**	**0.6**	**0.7**	**0.8**	**0.9**	**1.0**	**1.2**	**1.4**	**1.6**	**1.8**	**2.0**	**2.5**	**3.0**	**∞**
55	213	213	213	213	213	213	213	213	213	213	213	213	213	213	213
60	213	213	213	213	213	213	213	213	213	213	213	213	209	208	203
65	213	213	213	213	213	213	213	213	212	208	206	204	200	198	193
70	213	213	213	213	213	213	213	209	204	200	197	195	191	189	184
75	213	213	213	213	213	213	209	201	196	191	188	186	182	180	174
80	213	213	213	213	213	209	202	194	187	183	180	177	173	170	164
85	213	213	213	213	211	202	195	186	179	174	171	168	164	161	155
90	213	213	213	213	205	195	187	178	171	166	162	159	155	152	146
95	213	213	213	209	198	189	180	170	163	157	153	151	146	144	138
100	213	213	213	203	192	182	173	162	155	149	146	143	139	137	131
105	213	213	211	197	185	175	165	154	147	142	139	136	132	130	125
110	213	213	206	192	179	168	158	147	140	136	133	130	126	124	119
115	213	213	201	186	173	161	151	141	134	130	127	124	121	119	114
120	213	213	195	180	166	154	145	135	129	124	121	119	116	114	109
125	213	208	190	174	160	148	139	130	124	119	117	115	111	109	105
130	213	204	185	169	154	142	134	125	119	115	112	110	107	105	101
135	213	199	180	163	148	137	129	120	114	111	108	106	103	101	97
140	213	195	175	157	143	132	124	116	110	107	104	102	99	98	94
145	213	190	170	151	138	128	120	112	107	103	101	99	96	94	91
150	209	186	165	146	133	123	116	108	103	100	97	95	93	91	88
155	206	181	159	142	129	119	112	105	100	96	94	92	90	88	85
160	202	177	154	137	125	116	109	101	97	93	91	89	87	85	82
165	198	173	150	133	121	112	105	98	94	91	88	87	84	83	80
170	195	168	145	129	117	109	102	95	91	88	86	84	82	80	77
175	191	164	141	125	114	106	99	93	88	85	83	82	79	78	75
180	187	159	137	122	111	103	97	90	86	83	81	80	77	76	73
185	184	155	133	119	108	100	94	88	83	81	79	77	75	74	71
190	180	151	130	115	105	97	91	85	81	79	77	75	73	72	69
195	176	147	127	113	102	95	89	83	79	77	75	73	71	70	67
200	173	143	123	110	100	93	87	81	77	75	73	72	70	68	66
205	169	140	120	107	97	90	85	79	75	73	71	70	68	67	64
210	165	136	117	104	95	88	83	77	74	71	69	68	66	65	63
215	162	133	115	102	93	86	81	75	72	69	68	67	65	64	61
220	158	130	112	100	91	84	79	74	70	68	66	65	63	62	60
225	155	127	110	98	89	82	77	72	69	66	65	64	62	61	58
230	151	124	107	95	87	80	76	70	67	65	63	62	60	59	57
235	148	122	105	93	85	79	74	69	66	64	62	61	59	58	56
240	145	119	103	91	83	77	72	67	64	62	61	60	58	57	55
245	142	117	101	90	82	76	71	66	63	61	59	58	57	56	54
250	139	115	99	88	80	74	70	65	62	60	58	57	56	55	53

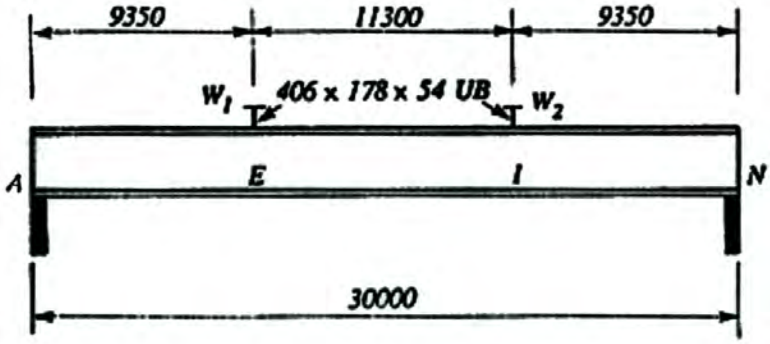
(تابع الجدول (6-1) مقاومة الجسد لتحنيب القص q_w (N/mm²)

ماركة الفولاذ S 355 – 16 mm < السماكة ≤ 40 mm – المقاومة التصميمية p_y = 345 N/mm²

d/t	نسبة تباعد المدعمات a/d													
	0.4	**0.5**	**0.6**	**0.7**	**0.8**	**0.9**	**1.0**	**1.2**	**1.4**	**1.6**	**1.8**	**2.0**	**2.5**	**3.0**	**∞**
55	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207
60	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	205	203	199
65	207	207	207	207	207	207	207	207	207	204	201	200	196	194	190
70	207	207	207	207	207	207	207	205	200	196	193	191	187	185	180
75	207	207	207	207	207	207	205	197	192	188	185	183	179	177	171
80	207	207	207	207	207	205	198	190	184	180	176	174	170	168	162
85	207	207	207	207	206	198	191	182	176	172	168	165	161	159	153
90	207	207	207	207	200	192	184	175	168	163	160	157	152	150	144
95	207	207	207	205	194	185	177	167	160	155	151	149	144	142	136
100	207	207	207	199	188	178	170	160	152	147	144	141	137	135	129
105	207	207	206	194	182	172	163	152	145	140	137	134	131	128	123
110	207	207	202	188	176	165	156	145	138	134	131	128	125	123	118
115	207	207	197	182	170	159	149	139	132	128	125	123	119	117	113
120	207	207	192	177	164	152	143	133	127	123	120	118	114	112	108
125	207	204	187	171	158	146	137	128	122	118	115	113	110	108	104
130	207	200	182	166	152	140	132	123	117	113	111	109	105	104	100
135	207	195	177	160	146	135	127	118	113	109	106	105	102	100	96
140	207	191	172	155	141	130	122	114	109	105	103	101	98	96	92
145	207	187	167	149	136	126	118	110	105	102	99	97	95	93	89
150	205	183	162	144	131	122	114	106	102	98	96	94	91	90	86
155	201	178	157	140	127	118	111	103	98	95	93	91	88	87	84
160	198	174	152	135	123	114	107	100	95	92	90	88	86	84	81
165	194	170	147	131	119	111	104	97	92	89	87	86	83	82	78
170	191	165	143	127	116	107	101	94	90	87	85	83	81	79	76
175	187	161	139	124	113	104	98	91	87	84	82	81	78	77	74
180	184	157	135	120	109	101	95	89	85	82	80	78	76	75	72
185	180	153	131	117	106	99	93	86	82	80	78	76	74	73	70
190	177	149	128	114	104	96	90	84	80	77	76	74	72	71	68
195	173	145	125	111	101	94	88	82	78	76	74	72	70	69	66
200	170	141	122	108	98	91	86	80	76	74	72	71	69	67	65
205	166	138	119	106	96	89	84	78	74	72	70	69	67	66	63
210	163	134	116	103	94	87	82	76	73	70	68	67	65	64	62
215	159	131	113	101	92	85	80	74	71	68	67	66	64	63	60
220	156	128	111	98	90	83	78	73	69	67	65	64	62	61	59
225	152	125	108	96	88	81	76	71	68	65	64	63	61	60	58
230	149	123	106	94	86	79	74	69	66	64	62	61	60	59	56
235	146	120	103	92	84	78	73	68	65	63	61	60	58	57	55
240	143	118	101	90	82	76	71	67	63	61	60	59	57	56	54
245	140	115	99	88	80	74	70	65	62	60	59	58	56	55	53
250	137	113	97	87	79	73	69	64	61	59	57	56	55	54	52

مثـــال (6-1)

صمم الجائز الصفائحي المبين في الشكل أدناه تحت تأثير الأحمال المبينة على الشكل، علماً أن الجناح العلوي للجائز مقيد تماماً على كامل طوله وأن ماركة الفولاذ S275



نوع الحمل	الأحمال الميتة	الأحمال الحية
موزع بانتظام	$w_d = 20\ kN/m$	$w_i = 40\ kN/m$
مركّز	$W_{1d} = 200\ kN$	$W_{1i} = 300\ kN$
مركّز	$W_{2d} = 200\ kN$	$W_{2i} = 300\ kN$

الحـــــل:

الجدول (1-2) * الأحمال المصعّدة: $w' = 20 \text{ x } 1.4 + 40 \text{ x } 1.6 = 92\ kN/m$

$$W_1' = W_2' = 200 \text{ x } 1.4 + 300 \text{ x } 1.6 = 760\ kN$$

* يبين الشكل أدناه مخططات الأحمال المصعدة والقص وعزم الانعطاف

* اختيار الأبعاد بشكل أولي:

الفقرة (6-2) – إن نسبة المجاز إلى ارتفاع مقطع الجائز (l/D) تتراوح بين 12 للجوائز ذات المجازات القصيرة و 20 للجوائز ذات المجازات الطويلة. وسنفرض في هذا المثال $l/D = 15$

$D = l/15 = 30000/15 = 200\, mm$

- بفرض أن المقاومة التصميمية لفولاذ الجناح $p_y = 255\, N/mm^2$ يمكن حساب مساحة الجناح بشكل تقريبي كما يلي:

$A_f \approx M_{max} / D\, p_y = 17458 \text{ x } 10^6 / 2000 \text{ x } 255 = 34232\, mm^2$

يتم اختيار نسبة عرض الجناح إلى ارتفاع المقطع بين 0.3-0.5 لهذا سنختار عرض الجناح 750 mm وسماكته 50 mm فتكون مساحة الجناح $37500\ mm^2$.

- تتراوح سماكة الجسد بين 10 mm للجوائز ذات الارتفاع حتى 1200 mm و 20 mm للجوائز ذات الارتفاع حتى 2500 mm وسنختار t =14 mm. إذاً لنجرب جائزاً صفائحياً بالأبعاد التالية:

$B = 750\, mm\ ,\ T = 50\, mm\ ,\ d = 2000\, mm\ ,\ t = 14\, mm$

* تصنيف المقطع

- إن الجناح مدمج لأن:

الجدول (2-1)

$T = 50\, mm \Rightarrow p_{yf} = 255\, N/mm^2\ ,\ \varepsilon = (275/\text{p}_{\text{yf}})^{1/2} = 1.04$

الجدول (2-2)

$b/T = (B - t)/2T = (750 - 14)/2 \text{ x } 50 = 7.36$

$b/T = 6.86 < 9\, \varepsilon = 9 \text{ x } 1.04 = 9.36$

- إن جسد المقطع نحيف لأن:

الجدولين (2-1,2)

$t = 14\, mm \Rightarrow p_{yw} = 275\, N/mm^2\ ,\ \varepsilon = (275/275)^{1/2} = 1$

$d/t = 2000/14 = 142.8 > 120\ \varepsilon = 120$

* يجب تحقيق جسد المقطع على تحنيب القص لأن:

الفقرة (6-2)

$d/t = 142.8 > 62\ \varepsilon = 62$

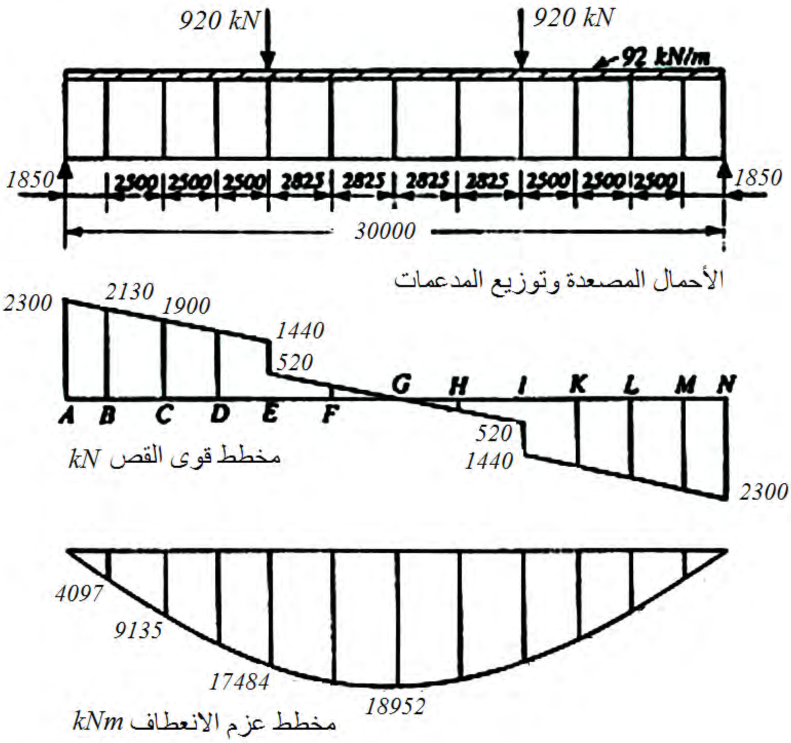
* على فرض أن المسافة بين المدعّمات $a > \text{d}$ فإن سماكة الجسد مناسبة لظروف الاستثمار لأن:

$t = 14\, mm > \text{d}/250 = 2000/250 = 8\, mm$

الفقرة (6-2) * وعلى فرض أن المسافة بين المدعّمات $a > 1.5\,\mathrm{d}$ فإن سماكة الجسد كافية لمنع تحنيب الجناح داخلاً في الجسد لأن:

$$t = 14\,mm > (\mathrm{d}/250)(\mathrm{p}_{\mathrm{yf}}/345) = (2000/250)(255/345) = 5.9\,mm$$

* ويبين الشكل أدناه توزعاً مقترحاً للمدعّمات على طول مجاز الجائز.



العلاقة (6-1) * رغم إهمال مساهمة الجسد فإن طاقة تحمّل المقطع للعزم أكبر من العزم الأعظمي المطبّق لأن:

$$\mathrm{M_c} = p_{yf}\,S_{xf}$$

$$\mathrm{S_{xf}} = A_f \times (d+T) = 37500 \times (2000+50) = 76.875 \times 10^6\ mm^3$$

$$\mathrm{M_c} = 255 \times 76.875 \times 10^6 \times 10^{-6} = 19603\,kNm > 18952 \quad o.k.$$

* تصميم اللوح BC من الجائز وفقاً للطريقة المبسطة

$$d = 2000\,mm\ ,\ t = 14\,mm\ ,\ d/t = 2000/14 = 142.8$$

$$a/d = 2500/2000 = 1.25\ ,\ p_{yw} = 275\,N/mm^2$$

بالعودة للجدول (6-1) نجد مقاومة الجسد لتحنيب القص:

الجدول (6-1) $q_w = 98\ N/mm^2$

ومنه تحسب قوة القص التي يتحملها الجائز كما يلي:

العلاقة (6-3)

$V_w = q_w\ dt = 98 \text{ x } 2000 \text{ x } 14 \text{ x } 10^{-3} = 2744\ kN$

$V_w > F_{vB} = 2130\ kN \qquad \text{o.k.}$

تُحدد طاقة تحمل القص الحرج كما يلي:

العلاقة (6-2)

$P_v = 0.6\ p_{yw} dt = 0.6 \times 275 \times 2000 \times 14 \times 10^{-3} = 4620\ kN$

العلاقة (6-9c)

$V_w = 2744 < 0.72 P_v = 0.72 \times 4620 = 3326\ kN \Rightarrow$

$V_{cr} = (V_w / 0.9)^2 / P_v = (2744/0.9)^2 / 4620 = 2012\ kN$

إذاً سينشأ حقل شد في هذا اللوح لأن:

$V_{cr} = 2012 < F_{vB} = 2130\ kN$

فلابد من ارساء هذا الحقل في اللوح الطرفي AB المجاور وتحدد المركبة الطولية لحقل الشد كما يلي:

العلاقة (6-11)

$$H_q = 0.5\ dt\ p_{yw} \left(\frac{F_v - V_{cr}}{V_w - V_{cr}}\right)\left(1 - \frac{V_{cr}}{P_v}\right)^{1/2}$$

$$H_q = 0.5 \times 2000 \times 14 \times 275 \times \left(\frac{2130 - 2012}{2744 - 2012}\right)\left(1 - \frac{2012}{4620}\right)^{1/2} \times 10^{-3}$$

$$= 466.3\ kN$$

* تصميم اللوح الطرفي AB من الجائز وفقاً للطريقة المبسطة

$d = 2000\ mm\ ,\ t = 14\ mm\ ,\ d/t = 2000/14 = 142.8$

$a/d = 1850/2000 = 0.925\ ,\ p_{yw} = 275\ N/mm^2$

بالعودة للجدول (6-1) نجد مقاومة الجسد لتحنيب القص:

الجدول (6-1) $q_w = 112.6\ N/mm^2$

ومنه تحسب قوة القص التي يتحملها الجائز كما يلي:

العلاقة (6-3)

$V_w = q_w\ dt = 112.6 \text{ x } 2000 \text{ x } 14 \text{ x } 10^{-3} = 3152\, kN$

$V_w > F_{vA} = 2300\, kN$ o.k.

تحديد طاقة تحمل القص الحرج:

$P_v = 0.6\, p_{yw} dt = 0.6 \times 275 \times 2000 \times 14 \times 10^{-3} = 4620\, kN$

$V_w = 3152 < 0.72 P_v = 0.72 \times 4620 = 3326\, kN \Rightarrow$

العلاقة (6-9c)

$V_{cr} = (V_w / 0.9)^2 / P_v = (3152/0.9)^2 / 4620 = 2656\, kN$

إذاً لاينشأ حقل شد في هذا اللوح لأن:

$V_{cr} = 2656 > F_{vA} = 2300\, kN$

ولكن يجب تحقيق اللوح AB كجائز يمتد بين جناحي الجائز الصفائحي ويتحمل قوة قص R_{tf} ناجمة عن تثبيت مركبة حقل الشد H_q الناتجة في اللوح BC.

العلاقة (6-16)

$R_{tf} = 0.75\, H_q \le V_{cr.ep}$

$R_{tf} = 0.75 \times 466.3 = 350\ \ kN$

تحسب طاقة تحمّل اللوح AB للقص باعتباره جائزاً ممتداً شاقولياً بين جناحي الجائز الصفائحي كما يلي:

$d = 1850\, mm\ ,\ t = 14\, mm\ ,\ d/t = 1850/14 = 132$

$a/d = 2000/1850 = 1.08,\ \ p_{yw} = 275\ N/mm^2$

بالعودة للجدول (6-1) نجد مقاومة الجسد لتحنيب القص:

الجدول (6-1)

$q_w = 113\ N/mm^2$

ومنه تحسب قوة القص التي يتحملها الجائز كما يلي:

العلاقة (6-3)

$V_w = q_w\ dt = 113 \text{ x } 1850 \text{ x } 14 \text{ x } 10^{-3} = 2926\, kN$

$V_w > R_{tf} = 350\, kN$ o.k.

$P_v = 0.6\, p_{yw} td$

$P_v = 0.6\ \text{ x } 275\ \text{ x } 14\ \text{ x } 1850 \text{ x } 10^{-3} = 4273.5\, kN > R_{tf}$ $o.k.$

$V_w = 2926 < 0.72 P_v = 0.72 \times 4273.5 = 3077\, kN \Rightarrow$

العلاقة (6-9c)

$$V_{cr.ep} = (V_w / 0.9)^2 / P_v = (2926/0.9)^2 / 4273.5 = 2473\, kN$$

إذاً $R_{tf} = 350 \le V_{cr.ep} = 2473\, kN$ o.k

* تصميم المدعّمة في A: ويجب تصميم المدعمة الطرفية لمقاومة قوة ضغط F_e عبارة عن رد فعل الجائز الصفائحي مضافاً إليها قوة F_{tf} ناتجة عن قوة حقل الشد في اللوح BC

العلاقة (6-17)

$$F_{tf} = 0.15\, H_q (d/a_e) = 0,15 \times 466.3 \times (2000/1850) = 75.6\ kN$$

$$F_e = 2300\, kN$$

$$F_x = F_e + F_{tf} = 2300 + 75.6 = 2375.6\, kN$$

- تحقيق أبعاد المدعّمة:

لنجرب مدعّمة تتألف من صفيحتين عرض كل منهما $240\, mm$ وسماكتها $t_s = 22\, mm$ ولنفرض أنه تم قطع زاوية كل صفيحة بمقدار $15\, mm$ عند لحام جسد الجائز مع جناحه.

الجدول (2-1)

$$t_s = 22\, mm \Rightarrow p_{ys} = 265\ N/mm^2 \ ,\ \varepsilon = (275/265)^{1/2} = 1.02$$

يجب أن يكون عرض أي من صفيحتي المدعّمة أصغر من $19\, t_s\, \varepsilon$

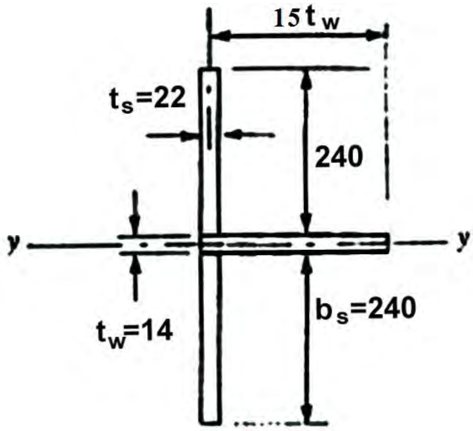
$$b_s = 240\, mm < 19\, t_s\, \varepsilon = 19 \text{ x } 22 \text{ x } 1.02 = 425\, mm \qquad o.k.$$

كما يجب أن لا يزيد عرض الصفيحة الواحدة المستخدم في الحساب عن $13\, t_s \varepsilon$.

$$b_s = 240\, mm < 13 \text{ x } 22 \text{ x } 1.02 = 291\, mm \qquad o.k.$$

تحقيق المدعّمة على التحنيب:

يبين الشكل أدناه المقطع الفعّال للجسد والمدعّمة الذي سيقاوم التحنيب



$$I_y = \frac{22 \text{ x} 494^3}{12} + \frac{199 \text{ x} 14^3}{12} = 22106 \text{ x } 10^4 \; mm^4$$

$$A_E = 240 \text{ x } 22 \text{ x } 2 + 14 \text{ x } (22+199) = 13654 \, mm^2$$

$$r_y = (I_y / A_E)^{1/2} = 127.2 \, mm$$

باعتبار أن الجناح ممنوع من الدوران في مستوي المدعّمة فإن الطول الفعّال للمدعّمة هو:

$$L_s = 0.7 \, d = 0.7 \text{ x } 2000 = 1400 \, mm$$

$$\lambda = L_E / r_y = 1400 / 127.2 = 11$$

رغم أن المقطع الفعّال مشكّل باللحام أوصى الكود بعدم تخفيض المقاومة التصميمية:

$$p_{ys} = 265 \, N / mm^2$$

وبالعودة للجدول (4-3c) لتحديد مقاومة الضغط p_c بدلالة λ وp_{ys} نجد:

$$p_c = 265 \, N / mm^2$$

ومنه تحدد طاقة تحمّل المدعّمة على التحنيب كما يلي:

العلاقة (4-1)

$$P_q = p_c \, A_E = 265 \text{ x } 13654 \text{ x } 10^{-3} = 3618 \, kN$$

إذاً المقطع الفعّال آمن على التحنيب لأن:

$$P_q = 3618 kN > F_x = 2375.6 \, kN$$

- تحقيق مقاومة المدعّمة على التحمّل

يحدد تحمّل جسد المقطع وفقاً للفقرة (6-5) كما يلي:

العلاقة (19-5)

$P_{bw} = (b_1 + n\,k)\,t\,p_{yw}$

بفرض أن طول التحميل الصلب $b_1 = 0$ وأن $n = 2$ و $k = T = 50\,mm$ كون الجائز مشكل باللحام

$P_{cw} = (0 + 2 \times 50) \text{ x } 14 \text{ x } 275 \text{ x } 10^{-3} = 385\,kN$

وعليه فإن المدعّمة يجب أن تتحمّل الفرق بين القوة المطبّقة F_x وتحمل الجسد P_{cw} أي: $F_A = F_x - P_{cw} = 2375.6 - 385 = 1990.6\,kN$

يحدد تحمّل المدعّمة بمفردها كما يلي:

$P_A = p_{ys}\,A = 265 \times 240 \times 22 \times 2 \times 10^{-3} = 2798\,kN > F_A$ o.k.

* تصميم المدعّمات الوسطية الواقعة عند G, F, D, C, B

سنقوم بتصميم المدعّمة عند المقطع B كونها الأكثر حرجاً ونعمّمها على المواقع الأخرى.

- اختيار أبعاد المدعّمة:

إن المسافة العظمى التي تفصل بين المدعّمات كما هو موضح في الأشكال أعلاه هي:

العلاقة (19-6)

$a = 2825\,mm < d\sqrt{2} = 2000\sqrt{2} = 2828\,mm$

وعليه فإن عزم عطالة المدعّمة يجب أن يحقق العلاقة (19-6) أي:

$I_s \geq 1.5\,d^3 t^3 / a^2 = 1.5 \text{ x } 2000^3 \text{ x } 14^3 / 2500^2 = 526.8 \text{ x } 10^4\ mm^4$

لتحقيق ذلك سنختار مدعّمة مؤلفة من صفيحتين أبعاد كل منهما $80 \text{ x } 13\,mm$ وبطول يساوي ارتفاع الجسد

بروز المدعّمة = $13\,t_s\,\varepsilon = 13 \text{ x } 13 \text{ x } 1 = 169\,mm > 80\,mm$

وعزم عطالتها

$$I_s = \left(13 \text{ x } 174^3 - 13 \text{ x } 14^3\right)/12$$
$$= 570 \text{ x } 10^4 \; mm^4 \geq 526.8 \text{ x } 10^4 \; mm^4 \qquad o.k.$$

- تحقيق المدعّمة على التحنيب:

تحدد القوة المطبّقة على المدعّمة وفق العلاقة (6-13) أي: العلاقة (6-20)

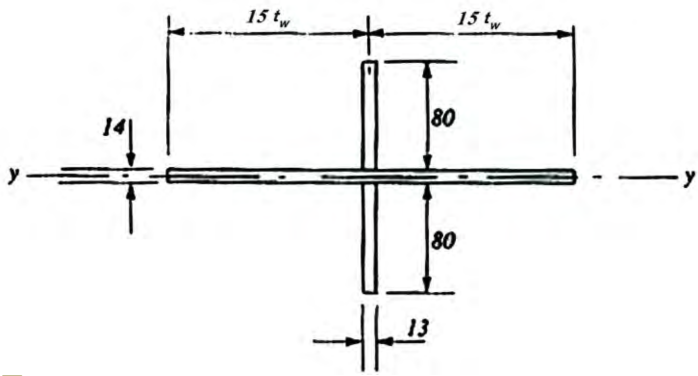
$$F_q = V - V_s \leq P_q$$

حيث : V قوة القص عند المدعّمة B وتساوي $2130\,kN$

$V_s = V_{cr}$ و V_{cr} قوة القص الحرج للوح المجاور للمدعّمة الذي تم فيه حساب V أي:

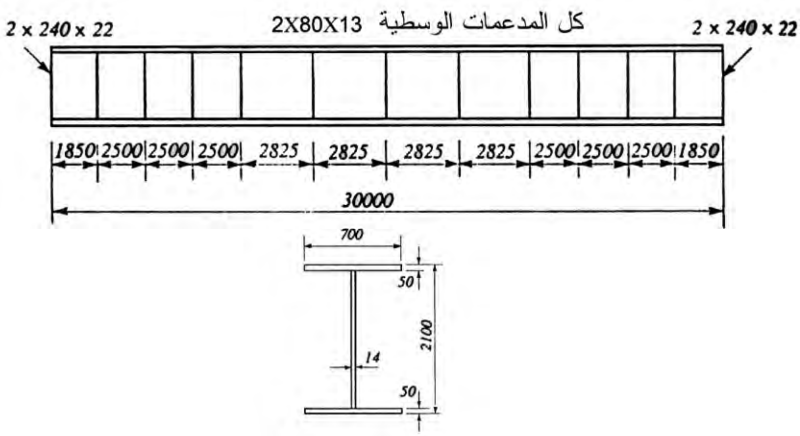
$$V_s = 2012\,kN$$
$$F_q = 2130 - 2012 = 118\,kN$$

يبين الشكل أدناه المقطع الفعّال للمدعّمة والجسد



$$15\,t_W = 15 \text{ x } 14 = 210\,m$$
$$A = 160 \text{ x } 13 + 2 \text{ x } 210 \text{ x } 14 = 7960\,mm^2$$
$$I_y = \left(13 \text{ x } 174^3 + 420 \text{ x } 14^3 - 13 \text{ x } 14^3\right)/12 = 580 \text{ x } 10^4 \; mm^4$$
$$r_y = \left(I_y / A\right)^{1/2} = \left(580 \text{ x } 10^4 / 7960\right)^{1/2} = 27\,mm$$
$$L_E = 0.7\,d = 0.7 \text{ x } 2000 = 1400\,mm$$
$$\lambda = L_E / r_y = 1400/27 = 52$$

	رغم أن المقطع الفعّال مشكّل باللحام أوصى الكود بعدم تخفيض المقاومة التصميمية:
	$p_{ys} = 275\ N/mm^2$
	باستخدام λ و p_{ys} وبالعودة للجدول (4-3c) نجد الإجهاد الأعظمي المسموح بتطبيقه على المقطع دون أن يحنّب $p_c = 218\ N/mm^2$ ومنه طاقة تحمّل المقطع
	$P_q = p_c\ A = 218 \times 7960 \times 10^{-3} = 1735\ kN > F_q = 118\ kN \quad o.k.$
	* تصميم المدعّمة عند E
	سنختار مدعّمة مماثلة من حيث الأبعاد للمدعّمة الواقعة عند B أي مؤلفة من صفيحتين أبعاد كل منهما $13 \times 80\ mm$ وبطول يساوي ارتفاع الجسد وبالتالي فإن بروز المدعّمة وعزم عطالتها محققين كما هو الحال في المدعّمة عند B.
	تحدد القوة المطبّقة على المدعّمة وفق العلاقة:
العلاقة (6-20)	$F_q = V - V_s \le P_q$
	حيث : V قوة القص عند المدعّمة E وتساوي $1440\ kN$
	كما في المدعّمة عند B $\quad V_s = V_{cr} = 2012\ kN$
	$F_q = V - V_s = 1440 - 2012 < 0$
	إذاً لا ينشأ حقل شد في أي من اللوحين المجاورين للمدعّمة E
	وكما في المدعّمة B فإن $P_q = 1735\ kN$ وبالتالي العلاقة (6-20) محققة.
	كما يجب أن تحقق المدعّمة E علاقة الترابط (6-21) كون المدعّمة وسطية وتحمل حملاً خارجياً أي :
العلاقة (6-21)	$\frac{F_q - F_x}{P_q} + \frac{F_x}{P_x} + \frac{M_s}{M_{ys}} \le 1$
	$F_x = 920\ kN$ الحمل المطبّق الخارجي، $M_s = 0$ العزم الناجم عن الأحمال اللامركزية.

	تؤخذ $F_q - F_x = 0$ لأن F_q سالبة. $P_x = P_q = 1735\,kN$ طاقة تحمّل المدعّمة على التحنيب باعتبار أنها ستقوم بحمل قوى خارجية وهي كما ورد في المدعمة السابقة. نعوض في علاقة الترابط فنجد : $1 < \frac{920}{1735}$ والعلاقة محققة. * تحقيق الجسد بين المدعّمات وفقاً للفقرة (6-3-5) يجب $f_{ed} \le p_{ed}$ حيث $f_{ed} = w'/t = 92/14 = 6.57\ N/mm^2$ وباعتبار أن الجناح ممنوع من الدوران بالنسبة للجسد فإن:
العلاقة (6-23)	$$p_{ed} = \left[2.75 + \frac{2}{(2852/2000)^2}\right]\frac{205000}{(2000/14)^2} = 37.7\ N/mm^2$$
	إذاً الجسد آمن لأن : $f_{ed} = 6.57 < p_{ed}$ إذاً سيكون الشكل النهائي للجائز كما يلي: 

الفصل السابع

تصميم العناصر المضغوطة الخاصة

7-1 العناصر المضغوطة المشكلة من زوايا ومجاري ومقاطع T

يمكن إهمال اللامركزية الناتجة عن الوصلات الطبيعية في نهاية هذا النوع من العناصر على أن يتم الالتزام بالشروط التصميمية المدونة أدناه مع اعتبار طول العنصر L مساوياً المسافة بين نقطتي تقاطع محاور العناصر أو امتداد محاور صفوف البراغي وأخذ نصف قطر العطالة r حول المحور المدروس, مع الانتباه إلى أن القيود الجانبية في مجاز العنصر المضغوط تخفّض L عند دراسة التحنيب. فمثلاً في العنصر المشكل من زاوية واحدة يؤخذ الطول L_{vv} مساوياً للمسافة بين القيود الجانبية سواءً كانت القيود متعامدة أم لا مع أي من المحورين الموازيين لساقي الزاوية

1) العنصر المضغوط مشكل من زاوية واحدة غير مستمرة وموصولة من طرفيها إلى صفيحتي وصل أو إلى عناصر أخرى بواسطة صف واحد مكون من برغيين على الأقل من كل طرف على طول الزاوية أو بواسطة لحام مكافئ، تؤخذ عندها نسبة النحافة الأكبر مما هو مبين في البند (1) من الجدول (1 -7).

2) العنصر المضغوط مشكل من زاوية واحدة غير مستمرة وموصولة من طرفيها إلى صفيحتي وصل أو إلى عناصر أخرى بواسطة برغي واحد من كل طرف، تؤخذ عندها نسبة النحافة الأكبر مما هو مبين في البند (2) من الجدول (1-7). كما تؤخذ طاقة تحمل العنصر مساوية إلى % 80 من طاقة تحمله فيما لو كان محملاً محورياً.

3) العنصر المضغوط مشكل من زاويتين غير مستمرتين وموصولتين عند طرفيهما إلى صفائح وصل أو عناصر أخرى مع تربيط الزاويتين ببعضهما ظهر لظهر بواسطة براغي أو لحام بحيث :

* يُقسم طول العنصر إلى ثلاثة أجزاء متساوية تقريباً على الأقل .

- لا تزيد نسبة نحافة الزاوية الواحدة $\lambda_c = L_{vv} / r_{vv}$ العظمى عن 50

حيث: L_{vv} المسافة بين أي نقطتين تربيط

r_{vv} نصف قطر العطالة الأصغري للزاوية

- لا تقل نسبة نحافة العنصر المضغوط الكلي العظمى λ_b حول محور موازٍ للسطح المربّط عن $1.4\,\lambda_c$

حيث : $\lambda_b = \left(\lambda_m^2 + \lambda_c^2\right)^{1/2}$

λ_m نسبة نحافة العنصر الكلي حول نفس المحور.

* لا يقل قطر براغي الربط عن *16 mm* على أن تكون قادرة على نقل القص الطولي بين الزاويتين والناتج عن قص عرضي مقداره *Q مساوي % 2.5* من القوة الضاغطة في أي نقطة على طول العنصر. ويحدد القص الطولي بـ $0.25\,Q\,\lambda_c$

* يتم الربط بين الزاويتين ببرغي أو لحام مباشرة في حال التماس الكامل بين الزاويتين أو بوضع حشوة بين المقطعين في حال وجود مسافة بينهما كما هو موضح في الشكل (2-3)

a – عندما تكون الزاويتان موصلتين بطرفيهما إلى جانب واحد من صفائح الوصل أو عناصر أخرى، تؤخذ نسبة النحافة الأكبر وفق أحد البندين التاليين:

- وفق البند (3) من الجدول (1-7) عندما يتم الربط مع صفيحة الوصل بصف مؤلف من برغيين على الأقل على طول الزاوية أو بلحام مكافئ.

- وفق البند (4) من الجدول (1-7) عندما يكون الربط مع صفيحة الوصل ببرغي واحد.

b – عندما تكون الزاويتان موصولتين بطرفيهما إلى جانبي صفائح الربط أو مباشرة إلى جانبي عناصر أخرى، تؤخذ نسبة النحافة الأكبر وفق أحد البندين التاليين:

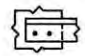
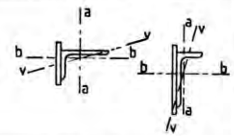
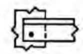
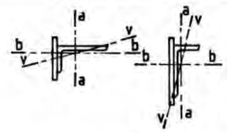
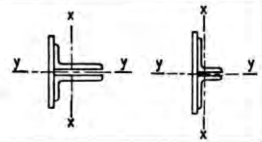
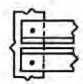
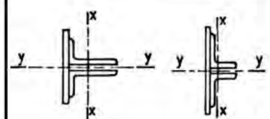
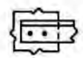
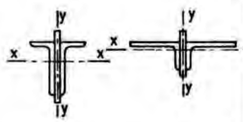
- وفق البند (5) من الجدول (7-1) عندما يتم الربط مع صفيحة الوصل بصف مؤلف من برغيين على الأقل على طول الزاوية أو بلحام مكافئ.
- وفق البند (6) من الجدول (7-1) عندما يتم الربط مع صفيحة الوصل ببرغي واحد، وتؤخذ طاقة تحمل العنصر مساوية إلى 80 % من طاقة تحمله فيما لو كان محملاً محورياً.

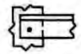
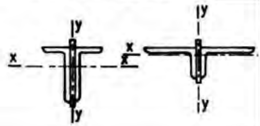
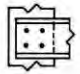
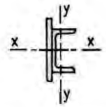
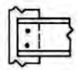
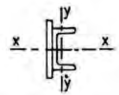
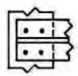
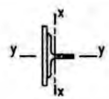
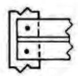
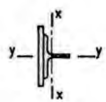
4) العنصر المضغوط مشكل من مجراية واحدة موصلة بجسدها إلى صفيحة وصل أو عنصر آخر، تحدد نسبة النحافة الأكبر وفق إحدى الحالتين التاليتين:

* وفق البند (7) من الجدول (7-1) عندما يتم الربط مع صفيحة الوصل بصفين أو أكثر من البراغي المتوضعة بشكل متناظر حول محور الجسد في كل من الطرفين أو أن يتم الربط بوصلة لحام مكافئة.
* وفق البند (8) من الجدول (7-1) عندما يتم الربط بصف واحد مؤلف من برغيين على الأقل متوضعين بشكل متناظر حول محور الجسد أو أن يتم الربط بوصلة لحام مكافئة.

5) العنصر المضغوط يتألف من مقطع T واحد موصول بجناحه إلى صفيحة وصل أو عنصر آخر، تحدد نسبة النحافة الأكبر وفق إحدى الحالتين التاليتين:

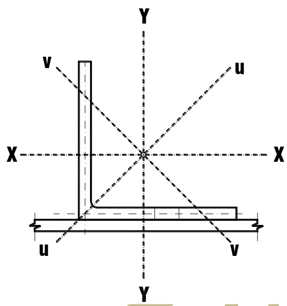
* وفق البند (9) من الجدول (7-1) عندما يتم الربط مع صفيحة الوصل في كل طرف بصفين أو أكثر من البراغي المتوضعة بشكل متناظر بالنسبة لجسد العنصر أو بوصلة لحام مكافئة.
* وفق البند (10) من الجدول (7-1) عندما يتم الربط مع صفيحة الوصل في كل طرف بصف واحد مؤلف من برغيين على الأقل متوضعة بشكل متناظر بالنسبة لجسد العنصر أو بوصلة لحام مكافئة.

Angle, channel and T-section struts			الجدول (7 - 1) مقاطع مضغوطة على شكل زوايا ومجاري ومقاطع T
رقم No.	الوصلة **Connection**	المقاطع والمحاور **Sections and axes**	نسبة النحافة **Slenderness ratios**
1			vv axis: $0.85L_{vv}/r_{vv}$ but $\geqslant 0.7L_{vv}/r_{vv} + 15$ aa axis: $1.0L_{aa}/r_{aa}$ but $\geqslant 0.7L_{aa}/r_{aa} + 30$ bb axis: $0.85L_{bb}/r_{bb}$ but $\geqslant 0.7L_{bb}/r_{bb} + 30$
2			vv axis: $1.0L_{vv}/r_{vv}$ but $\geqslant 0.7L_{vv}/r_{vv} + 15$ aa axis: $1.0L_{aa}/r_{aa}$ but $\geqslant 0.7L_{aa}/r_{aa} + 30$ bb axis: $1.0L_{bb}/r_{bb}$ but $\geqslant 0.7L_{bb}/r_{bb} + 30$
3			xx axis: $1.0L_{xx}/r_{xx}$ but $\geqslant 0.7L_{xx}/r_{xx} + 30$ yy axis: $[(0.85L_{yy}/r_{yy})^2 + \lambda_c^{\,2}]^{1/2}$ but $\geqslant 1.4\lambda_c$
4			xx axis: $1.0L_{xx}/r_{xx}$ but $\geqslant 0.7L_{xx}/r_{xx} + 30$ yy axis: $[(L_{yy}/r_{yy})^2 + \lambda_c^{\,2}]^{1/2}$ but $\geqslant 1.4\lambda_c$
5			xx axis: $0.85L_{xx}/r_{xx}$ but $\geqslant 0.7L_{xx}/r_{xx} + 30$ yy axis: $[(L_{yy}/r_{yy})^2 + \lambda_c^{\,2}]^{1/2}$ but $\geqslant 1.4\lambda_c$

Angle, channel and T-section struts			(7 - 1) تابع الجدول
رقم No.	الوصلة Connection	المقاطع و المحاور Sections and axes	نسبة ا لنحافة Slenderness ratios
6			xx axis: $1.0L_{xx}/r_{xx}$ but $\geqslant 0.7L_{xx}/r_{xx} + 30$ yy axis: $[(L_{yy}/r_{yy})^2 + \lambda_c^2]^{1/2}$ but $\geqslant 1.4\lambda_c$
7			xx axis: $0.85L_{xx}/r_{xx}$ yy axis: $1.0L_{yy}/r_{yy}$ but $\geqslant 0.7L_{yy}/r_{yy} + 30$
8			xx axis: $1.0L_{xx}/r_{xx}$ yy axis: $1.0L_{yy}/r_{yy}$ but $\geqslant 0.7L_{yy}/r_{yy} + 30$
9			xx axis: $1.0L_{xx}/r_{xx}$ but $\geqslant 0.7L_{xx}/r_{xx} + 30$ yy axis: $0.85L_{yy}/r_{yy}$
10			xx axis: $1.0L_{xx}/r_{xx}$ but $\geqslant 0.7L_{xx}/r_{xx} + 30$ yy axis: $1.0L_{yy}/r_{yy}$

مثال : (7-1)

عنصر مضغوط طرفاه ممسوكان في موضعهما وحرّان في الدوران. طوله *360 cm* ومقطعه يتألف من زاوية مفردة $L120 \text{ x } 120 \text{ x } 10\, mm$ موصولة ببرغيين إلى صفيحة وصل في كل من طرفيها (كما في الشكل أدناه). احسب طاقة تحمل العنصر على الضغط المحوري علماً أن ماركة الفولاذ S275



<u>الحــل:</u>

* من جداول المقاطع الفولاذية نجد:

$A = 23.3\, cm^2 \quad , \quad r_x = r_y = 3.69\, cm \quad , \quad r_u = 4.65\, cm \quad , \quad r_v = 2.37\, cm$

* تحدد نسبة النحافة وفقاً للبند (1) من الجدول (7-1) وتؤخذ الأكبر مما يلي:

الجدول (7-1)

$\lambda_v = 0.85\, L_v / r_v = 0.85 \text{ x } 360 / 2.37 = 129$

كما يجب $\lambda_v \geq 0.7\, L_v / r_v + 15 = 0.7 \text{ x } 360 / 2.37 + 15 = 121$

إذاً $\lambda_v = 129$

$\lambda_x = 1.0\, L_x / r_x = 1.0 \text{ x } 360 / 3.69 = 97.5$

كما يجب $\lambda_x \geq 0.7\, L_x / r_x + 30 = 0.7 \text{ x } 360 / 3.69 + 30 = 98.3$

إذاً $\lambda_x = 98.3$

$\lambda_y = 0.85\, L_y / r_y = 0.85 \text{ x } 360 / 3.69 = 83$

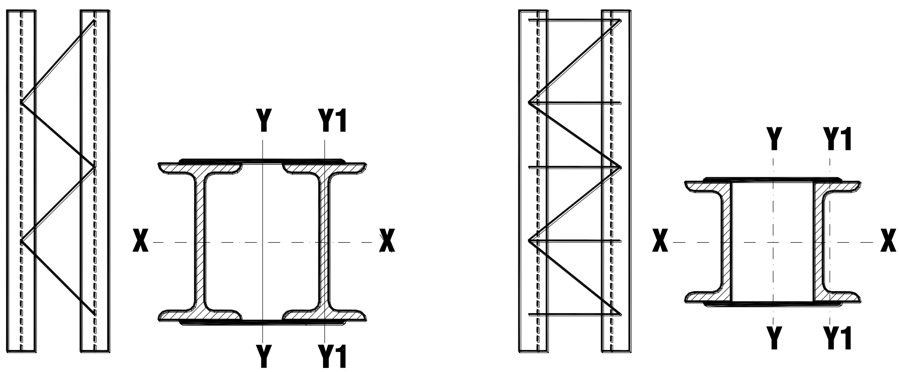
كما يجب $\lambda_y \geq 0.7\, L_y / r_y + 30 = 0.7 \text{ x } 360 / 3.69 + 30 = 98.3$

إذاً $\lambda_y = 98.3$

	بمقارنة $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_v$ نجد $\lambda_{max} = \lambda_v = 129$
الجدول (2-1)	* باعتبار أن السماكة $T = 10\ mm$ فإن $p_y = 275\ N/mm^2$ $\varepsilon\left(275/p_y\right)^{1/2} = 1$
الجدول (2-2)	* إن المقطع ليس نحيف لأن $b/T = d/T = 120/10 = 12 < 15\varepsilon = 15 \text{ x } 1 = 15$ $(b+d)/T = (120+120)/10 = 24 = 24\,\varepsilon = 24 \text{ x } 1 = 24$
الجدول (4-3c)	بالعودة للجدول (4-2) يتبين أنه لتحديد مقاومة الضغط p_c لا بد من استخدام الجدول (4-3c) بدلالة نسبة النحافة λ_{max} و p_y فنجد: $p_c = 87 N/mm^2$
العلاقة (4-1)	وعليه تحسب طاقة تحمل المقطع وفق العلاقة: $P_c = A_g p_c = 23.3 \text{ x } 100 \text{ x } 87 \text{ x } 10^{-3} = 202.7\ kN$

7-2 الأعمدة المربطة Laced struts

قد تدعو الحاجة أحياناً إلى تجميع أكثر من مقطع لتشكيل مقطع عمود، وكي تعمل هذه المقاطع معاً كعنصر واحد لا بد من تربيطها بقضبان ربط. ويبين الشكل (7-1) طريقتين من طرائق التربيط.



الشكل (7-1) عمود مربّط

ولكي يعمل عمود مربّط كعنصر واحد لا بد من تحقيق الشروط التالية:

1 – يتم تقييد العناصر الرئيسية المكونة للعمود بشكل فعّال ضد التحنيب بجملة تربيط مؤلفة من قضبان مبسّطة أو مقاطع تشكل مثلثات فيما بينها على أوجه العمود وبحيث يكون نظام التربيط منتظماً إلى حد ما على طول العمود وأن تكون زاوية ميل قضبان التربيط مع محور العمود بين 40° و 70°

2 – عند نهايتي جملة التربيط أو عندما تُقطع جملة التربيط أو عند التقاء العمود بعناصر أخرى، لا بد من تربيط العناصر الرئيسية في مستو عمودي على محور العمود بعوارض أو بقضبان متصالبة. وفي كلا الحالتين يجب تصميم هذه العناصر الداعمة لتتحمل القوى التي صممت عليها جملة التربيط.

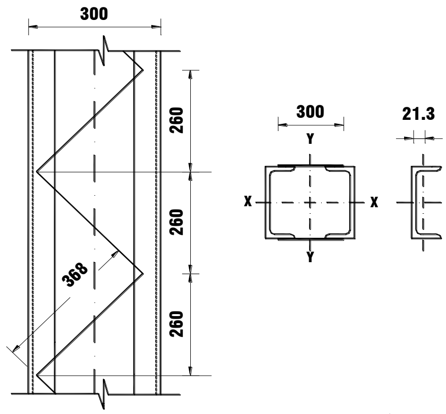
3 – يجب أن لا تزيد نسبة النحافة العظمى λ_c للعناصر الرئيسية المكونة للعمود على 50 على أن يؤخذ الطول الفعال للعنصر مساوياً للمسافة بين نقطتي تربيط متتاليتين على طوله وأن يؤخذ نصف قطر العطالة الأصغر للعنصر وإذا كانت نسبة النحافة العظمى للعمود أقل من $1.4\lambda_c$ فيعتمد في التصميم نسبة نحافة تساوي $1.4\lambda_c$.

4 – يجب أن لا تزيد نسبة نحافة قضبان التربيط على 180 على أن يؤخذ الطول الفعال مساوياً للمسافة الداخلية بين اللحامين الرابطين لقضيب الربط مع العمود. أما في حال التربيط المزدوج فيؤخذ الطول الفعال مساوياً70% من المسافة ذاتها على أن يتم لحام قضبان شبكات التربيط المزدوج مع بعضها عند تقاطعها.

5 – تصمم قضبان التربيط لتتحمل قوة قص جانبية مقدارها 2.5 % من القوة الضاغطة المحورية المصعّدة في العمود، وتقسم قوة القاص هذه بالتساوي بين قضبان التربيط الواقعة في مستويات متوازية، فإذا وجدت قضبان التربيط في مستويين متوازيين تقسم هذه القوة على اثنين، كما يضاف إلى قوة القاص السابقة قوة القص الناجمة عن عزم الانعطاف إذا كان العمود خاضعاً لعزم انعطاف ناتج عن لا مركزية أو عزم مطبق أو قوى جانبية.

مثال : (7-2)

صمم العمود المربّط المبين في الشكل أدناه، علماً أن طوله $8\ m$ ومشكل من مجرايتين مع نظام التربيط المبين في الشكل، وأن ماركة الفولاذ S275 وأن العمود مقيد في موضعه عند طرفيه وحر في الدوران حول المحور y في كلا الطرفين وممنوع من الدوران جزئياً في كلا طرفيه حول المحور x وأن الحمل المحوري المصعد والمطبق على العمود هو $F_c = 910\,kN$



الحل :

* سنختار من جداول المقاطع الفولاذية مجرايتين قياس 203×76 حيث:

$D = 203.2\,mm \quad , \quad B = 76.2\,mm \quad , \quad T = 11.2\,mm \quad , \quad t = 7.1\,mm$

$d = 152.2\,mm \quad , \quad r_x = 8.02\,cm \quad , \quad r_y = 2.23\,cm \quad , \quad I_y = 151\,cm$

الجدول (2-1) $A = 30.3\,cm^2$

* بما أن : $T = 11.2\,mm$ فإن: $p_y = 275\,N/mm^2$

الجدول (4-4) و $\varepsilon = (275/P_Y)^{1/2} = 1.0$

* الطول الفعّال : $L_{Ex} = 0.85\,L = 0.85 \times 800 = 680\,cm$

$L_{Ey} = 1.0\,L = 800\,cm$

* مقطع المجراية ليس نحيفاً لأن :

الجدول (2-2) $b/T = 76.2/11.2 = 6.8 < 15\,\varepsilon = 15 \times 1 = 15$

$d/t = 152.2/7.1 = 21.5 < 40\varepsilon = 40$

* عزم عطالة المقطع المجمع ونصف قطر عطالته حول المحور y

$I'_y = 2\left[I_y + A\left(300 \times 10^{-1}/2 - 2.13\right)^2\right]$

$I'_y = 2\left[151 + 30.3\left(15 - 2.13\right)^2\right] = 10340\,cm^2$

$r'_y = \left(I'_y / A'\right)^{1/2} = \left(10340/2 \times 30.3\right)^{1/2} = 13.1\,cm$

* نسبة نحافة المقطع المجمع :

$\lambda_x = L_{Ex}/r_x = 680/8.02 = 84.8$

$\lambda_y = L_{Ey}/r'_y = 800/13.1 = 61.1$

بالعودة إلى الجدول (4-2) نجد أنه لتحديد مقاومة الضغط p_c حول أي

من المحورين لا بد من استخدام الجدول (4-3c) مع أخذ $\lambda_{max} = \lambda_x = 84.8$ فنجد

الجدول (4-3c)

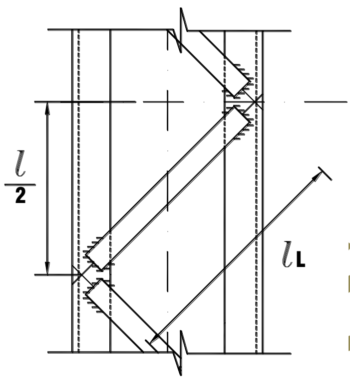
$p_c = 152 \ N/mm^2$

* وعليه تحدد قوة تحمل العمود المركب وفق العلاقة:

العلاقة (4-1)

$P_c = A_g p_c = 2 \text{ x } 30.3 \text{ x } 100 \text{ x } 152 \text{ x } 10^{-3} = 921 \, kN > 910 \quad o.k.$

* كجملة تربيط سنستخدم قضبان مبسطة ذات مقطع *40*x*8 mm* تميل على محور العمود زاوية 45° وبالأبعاد الأولية المبينة في الشكل أدناه :



$l = 2X260 = 520 \, mm$

$l_l = 260\sqrt{2} = 368 \, mm$

* يجب أن لا تزيد نسبة نحافة أي من المجرايتين بين نقطتي تربيط متتاليتين عليها على *50*

$\lambda_c = l / r_y = 2 \text{ x } 260 \text{ x } 10^{-1} / 2.23 = 23.3 < 50 \qquad o.k.$

* يجب أن لا تقل نسبة النحافة العظمى للعمود عن:

$1.4 \lambda_c = 1.4 \text{ x } 23.3 = 32.6 < \lambda_{max} = \lambda_x = 84.450 \qquad o.k.$

* يجب أن لا تزيد نسبة نحافة قضيب التربيط على *180*

طول قضيب التربيط : $l_L = 260\sqrt{2} = 368 \, mm$

وعليه طوله الفعّال : $l_{LE} = 1.0 l_L = 368 \, mm$

نصف قطر عطالة قضيب التربيط الأصغري :

$r_L = t/\sqrt{12} = 8/\sqrt{12} = 2.31 \, mm$

نسبة نحافة قضيب التربيط

$$\lambda_L = l_{LE} / r_L = 368/2.31 = 159 < 180 \quad o.k.$$

* يجب أن يتحمل قضيب التربيط قوة محورية ناتجة عن قص عرضي مقدار *2.5 %* من قوة الضغط المطبقة على العمود F_c أي :

$$F_L = (0.025\, F_c / n)\, Cos\, \alpha$$

حيث : $n = 2$ عدد شبكات التربيط الواقعة في مستويات متوازية.

$\alpha = 45°$ زاوية ميل قضبان التربيط على محور العمود.

إذاً : $F_L = (0.025 \text{ x } 910/2)\, Cos\, 45 = 16.1\, kN$

الجدول (2-1)

* بما أن سماكة قضبان الربط $T = 8\, mm$ فإن: $p_y = 275\, N/mm^2$

الجدول (4-3b)

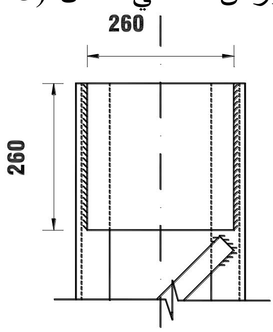
* بالعودة إلى الجدول (4-2) نجد أنه لتحديد مقاومة الضغط p_c يجب أن نستخدم الجدول (4-3b) مع p_y و λ_L فنجد: $p_c = 67\, N/mm^2$

* بناءً على ما تقدم تحسب قوة تحمل قضيب الربط على الضغط وفق العلاقة:

العلاقة (4-1)

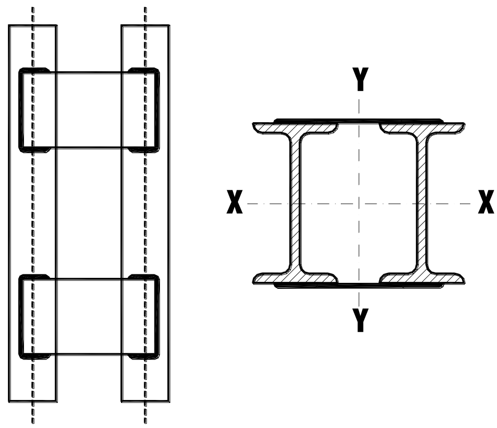
$$P_c = A_g\, p_c = 40 \text{ x } 8 \text{ x } 67 \text{ x } 10^{-3} = 21.4\, kN > F_L = 16.1\, kN$$

* يجب تزويد العمود عند نهايتي جملة التربيط بمستوى تدعيم عمودي على محور العمود يتألف من قضبان متصالبة أو عوارض. وسنستخدم في المثال عوارض كما هو مبين في الشكل أدناه وسنقوم بتصميم هذه العوارض كما في المثال (7-3).



7-3 الأعمدة المدعمة بعوارض Battened struts

بيّنّا في الفقرة السابقة طريقة لجعل مجموعة من المقاطع تعمل مع بعضها كعنصر واحد. وسنبين في هذه الفقرة طريقة أخرى لتجميع مقطعين أو أكثر أيضاً لتقوم بنفس العمل وذلك بربطها بعوارض فولاذية – صفائح أو مقاطع – متعامدة مع محور العمود كما هو مبين في الشكل (7-2)



الشكل (7-2) عمود مدعّم بعوارض

ولكي يعمل عمود مدعّم كعنصر واحد لا بد من تحقيق الشروط التالية:

1 – يتم تقييد العناصر الرئيسية المكونة للعمود بشكل فعّال ضد التحنيب بجملة من العوارض مؤلفة من صفائح أو مقاطع وبحيث تُشكل مع العناصر الرئيسية إطاراً ذا عقد صلبة. تثبت العوارض على العناصر الرئيسية كأزواج متقابلة على وجهي العمود بدءاً من نهايته وعند نقاط السند الجانبي وكذلك على مسافات متساوية على طوله.

2– يجب أن لا تزيد نسبة النحافة العظمى λ_c للعناصر الرئيسية المكونة للعمود على 50 على أن يؤخذ الطول الفعّال مساوياً للمسافة بين محوري عارضتين

متتاليتين وأن يؤخذ نصف قطر العطالة الأصغر للعنصر. وتحسب نسبة نحافة العمود λ_b حول محور متعامد مع المدعّمات وفق العلاقة التالية:

$$\lambda_b = \left(\lambda_m^2 + \lambda_c^2\right)^{1/2}$$

حيث: λ_m هي نسبة نحافة العمود حول المحور المتعامد مع المدعّمات.

فإذا كانت λ_b أصغر من $1.4\,\lambda_c$ يتم التصميم بناءً على $\lambda_b = 1.4\,\lambda_c$

3 - يجب أن لا تقل سماكة العارضة المشكّلة من صفيحة عن 1/50 من المسافة بين اللحامين الطرفيين المثبتين لها، ويجب أن لا تزيد نسبة نحافة المقاطع المستعملة كعوارض على 180

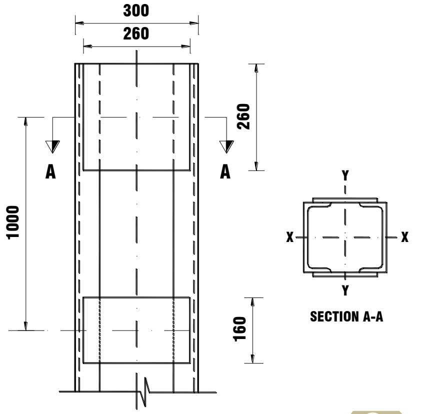
4 - يجب أن لا يقل عرض المدعّمة الطرفية (الموازي لمحور العمود) عن المسافة بين محوري المقطعين المشكلين للعمود أو عن ضعف عرض جناح المقطع الأصغر.

5 - يجب أن لا يقل عرض المدعّمة الداخلية (الموازي لمحور العمود) عن نصف المسافة بين محوري المقطعين المشكلين للعمود أو عن ضعف عرض جناح المقطع الأصغر.

6 - تصمم العوارض ووصلاتها مع العناصر الرئيسية لتتحمل القوى والعزوم الناتجة عن قص عرضي في أي نقطة من طول العمود مساوٍ إلى % 2.5 من قوة الضاغط المحورية المصعّدة في العمود. ويضاف إلى قوة القاصّ السابقة قوة القص الناتجة عن عزم الانعطاف إذا كان العمود خاضعاً لعزم انعطاف ناتج عن لامركزية أو عزم مطبق أو قوى جانبية.

مثال : (7-3)

صمم العمود المدروس في المثال (7-2) كعمود مدعّم بعوارض كما في الشكل المبين أدناه:



الحـــــل:

* سنختار من جداول المقاطع الفولاذية مجرايتين قياس *203* x *76* كما في المثال (7-2) حيث وجدنا:

$p_y = 275\ N/mm^2$, $\varepsilon = 1.0$, $L_{Ex} = 680\ cm$, $L_{Ey} = 800\ cm$

$r_y = 2.23\ cm$, $I'_y = 10340\ cm^2$, $r'_y = 13.1\ cm$, $\lambda_x = 84.8\ cm$,

$\lambda'_y = 61.1$, $p_c = 152\ N/mm^2$, $P_c = 921\ kN$

* لتأمين العمل المشترك لعناصر العمود نستخدم نظام تدعيم بعوارض فولاذية ذات مقطع $160 \times 6\ mm$ كل $100\ cm$ مع عارضتين طرفيتين مقطع كل منهما *260* x *6 mm*

* يجب أن لا تزيد نسبة نحافة أي من المجرايتين بين مركزي عارضتين متتاليتين على 50 أي: $\lambda_c = l/r_y = 100/2.23 = 44.8 < 50 \quad o.k.$

* تُحدد نسبة نحافة العمود λ_b كما يلي:

$\lambda_b = \left(\lambda_m^2 + \lambda_c^2\right)^{1/2}$ و $\lambda_m = \lambda'_y = 61.1$

$\lambda_b = \left(61.1^2 + 44.8^2\right)^{1/2} = 75.8 \geq 1.4\lambda_c = 1.4 \times 44.8 = 62.7$

* بما أن $\lambda_x = 84.8 > \lambda_b = 75.8$ فإن التحنيب حول المحور x سيكون مسيطراً.

* يجب أن لا تقل سماكة العارضة عن 1/50 من المسافة بين اللحامين المثبتين لها أي: $t \geq 260/50 = 5.2\,mm$

* كما يجب أن لا تزيد نسبة نحافة العارضة عن 180 أي:

$$\lambda = L_E / r \leq 180 \;,\; r = t/\sqrt{12}$$

ومنه : $t/\sqrt{12} \geq L_E/180 \Rightarrow t \geq L_E\sqrt{12}/180$

أو : $t \geq 260\sqrt{12}/180 = 5\,mm$

* إذا سماكة العوارض المختارة *6 mm* كافية ومحققة للشرطين السابقين

* يجب أن لا يقل عرض العارضة الداخلية b عن نصف المسافة بين محوري المجرايتين المشكلتين للعمود وأن لا يقل عن ضعف عرض جناح المجراية. أي: $b \geq 0.5\,(300 - 2 \text{ x } 2.13 \text{ x } 10) = 129\;\; mm$

و $b \geq 2 \text{ x } 76.2 = 152\;\; mm$

إذاً $b = 160\; mm$ مناسبة

* يجب أن لا يقل عرض العارضة الطرفية b_E عن المسافة بين محوري المجراتين المشكلتين للعمود وأن لا يقل عن ضعف عرض جناح المجراية أي:

$b_E \geq 300 - 2 \text{ x } 2.13 \text{ x } 10 = 257\,mm$

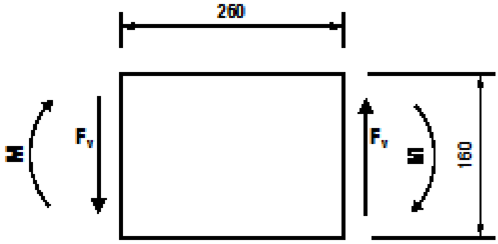
و $b_E \geq 2 \text{ x } 76.2 = 152\,mm$

إذاً $b_E = 260mm$ مناسبة

* تصمم العوارض الوسطية لتتحمل القوى والعزوم الناجمة عن قص عرضي في أية نقطة من طول العمود مساوٍ 2.5% من القوة المحورية المصعدة المطبقة على العمود، إذاً:

– القص العرضي $F_q = 0.025F_c = 0.025 \text{ x } 910 = 22.8\;\; kN$

– القوة القاصة والعزم الناتجين عن القص F_q مبينان في الشكل أدناه:



$F_v = F_q \, l / na \quad , \quad \mathrm{M} = \mathrm{F_q} \, l / 2n$

حيث : $l = 1000 \, mm$ المسافة بين محاور العوارض المتتالية

$a = 260 \, mm$ طول العارضة

$n = 2$ عدد مستويات العوارض

إذاً $F_v = 22.8 \, \mathrm{x} 1000 / 2 \, \mathrm{x} \, 260 = 43.8 \, kN$

$M = 22.8 \, \mathrm{x} \, 1 / 2 \, \mathrm{x} \, 2 = 5.7 \, kNm$

– تحدد طاقة تحمل القص وفق العلاقة

العلاقة (5-1) الفقرة (5-2)

$$\left. \begin{aligned} P_v &= 0.6 \, p_y \, A_v \\ A_v &= 0.9 \, \mathrm{A} = 0.9 \, \mathrm{x} \, 6 \, \mathrm{x} \, 160 \\ &= 864 \, mm^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} P_v &= 0.6 \, \mathrm{x} \, 275 \, \mathrm{x} \, 864 \, \mathrm{x} \, 10^{-3} \\ &= 143 \;\; kN \geq F_v \qquad o.k. \end{aligned}$$

$F_v < 0.6 P_v$

– تحدد طاقة تحمل العزم وفق العلاقة

العلاقة (5-2)

$M_c = p_y \, S \leq 1.2 \, p_y \, Z$

بما أن مقطع العارضة العرضي مستطيل فإن $1.2 \, Z < S$ لذلك تحدد طاقة تحمل العزم وفق العلاقة التالية:

$$\left. \begin{aligned} M_c &= 1.2 \, p_y \, Z \\ Z &= 6 \, \mathrm{x} \, 160^2 / 6 = 25600 \, mm^3 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} M_c &= 1.2 \, \mathrm{x} \, 275 \, \mathrm{x} \, 256000 \, \mathrm{x} \, 10^{-6} \\ &= 8.4 \, kNNm > M = 5.7 \, kNm \, o.k \end{aligned}$$

– تحقيق تجنيب الفتل الجانبي:

تحدد نسبة النحافة المكافئة للعارضة وفقاً للعلاقة التالية:

الفقرة (B.2-7 BS5950)	$\lambda_{LT} = 2.8\,(\beta_w L_E\, d/t^2)^{1/2}$ حيث: L_E الطول الفعال للعارضة $L_E = 0.85 \text{ x } 260 = 221\, mm$ d ارتفاع مقطع العارضة $d = b = 160\, mm$ t سماكة العارضة $t = 6\, mm$ $\beta_w = 1$ المقطع نصف مدمج $\lambda_{LT} = 2.8 \text{ x } (1 \text{ x} 221 \text{ x } 160/6^2)^{1/2} = 87.8$
الجدول (5-7)	تحدد مقاومة الانعطاف p_b من الجدول (5-7) بدلالة λ_{LT} و p_y فنجد: $p_b = 149\, N/mm^2$ وعليه يحدد العزم المقاوم لتحنيب الفتل الجانبي للعارضة وفق العلاقة $M_b = p_b\, S = 149 \text{ x } 6 \text{ x } 160^2 \text{ x } 10^{-3}/4 = 5.7\ kNm$ – نصت الفقرة (B 2-7, BS 5950) أن معامل عزم الانعطاف المنتظم المكافئ $m_{LT} = 1.0$
العلاقة (5-16)	$M_x = 5.7\ kNm \le M_b/\text{m}_{LT} = 5.7/1.0 \qquad o.k.$

الفصل الثامن

العناصر المعرضة للضغط والانعطاف

8–1 مقدمة

لقد تناولنا في الفصلين الرابع والخامس تصميم العناصر المعرضة للضغط البسيط والانعطاف بشكل منفصل، وقلما توجد في الحياة العملية أي من هاتين الحالتين دون الأخرى، حيث يترافق الضغط مع العزم نتيجة إما لامركزية الوصلات التي تؤدي إلى نقل الأحمال بشكل غير مركزي أو نتيجة العزوم المنتقلة عبر العقد الصلبة أو المنتقلة نتيجة استمرار العناصر. كمثال يبين الشكل (8-1) أنواع الأحمال التي يتعرض لها عادة عمود في مبنى صناعي

حيث :

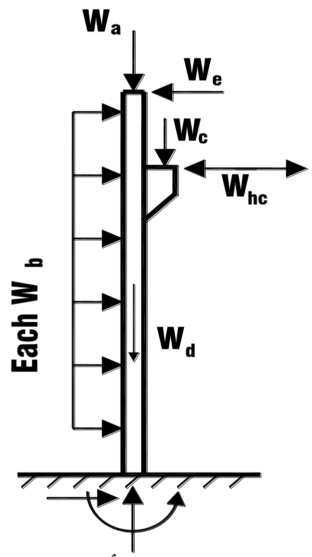
W_a الحمل الشاقولي المنقول مركزياً من سقف الهيكل الإنشائي.

W_b الحمل الأفقي الناجم عن الرياح والذي ينتقل عبر سكك الجدران

W_c و W_{hc} حملي الرافعة ويطبقان لا مركزياً عبر ظفر الرافعة.

W_d الوزن الذاتي للعمود والتغطية

W_e الحمل الأفقي المنقول من الهيكل الإنشائي للسقف



الشكل (8-1) أحمال العمود

يجب تحقيق طاقة تحمل العنصر المضغوط والمعرض إلى عزم موضعياً في نقاط العزم الأعظمي حيث تُسقف طاقة تحمل العنصر إما بوصوله إلى مرحلة السيلان أو

بحدوث تحنيب موضعي وذلك وفقاً لخصائص المقطع، أو بحدوث تحنيب كلي أو بحدوث تحنيب فتل جانبي.

8–2 تحقيق طاقة تحمّل العنصر موضعياً Local capacity check

يجب أن تحقق القوى والعزوم المطبقة علاقة الترابط (8-1) إذا كان المقطع ليس نحيفاً أما إذا كان نحيفاً فيجب أن تتحقق العلاقة (8-2) وذلك في المواقع التي يكون فيها العزوم والقوى المحورية أكبر ما يمكن.

$$\frac{F_c}{A_g p_y} + \frac{M_x}{M_{cx}} + \frac{M_y}{M_{cy}} \leq 1 \qquad (8\text{-}1)$$

$$\frac{F_c}{A_{eff} p_y} + \frac{M_x}{M_{cx}} + \frac{M_y}{M_{cy}} \leq 1 \qquad (8\text{-}2)$$

حيث: F_c قوة الضغط ا لمحورية المطبقة على العنصر

M_x و M_y عزمي الانعطاف المطبقين حول المحورين x و y على الترتيب.

A_g مساحة مقطع العنصر الكلية.

A_{eff} مساحة مقطع العنصر الفعّالة.

p_y المقاومة التصميمية وفق الجدول (2-1)

M_{cx} طاقة تحمل العزم حول المحور x وتحدد وفقاً للفقرة (5-3)

M_{cy} طاقة تحمل العزم حول المحور y وتحدد وفقاً للفقرة (5-3)

عندما يكون المقطع غير متناظر حول محورين يمكن العودة اختيارياً للملحق I_3 من الكود BS 5950 .

8–3 تحقيق التحنيب الكلي وتحنيب الفتل الجانبي

لتجنب حدوث تحنيب كلي للعنصر يجب أن تحقق العزوم والقوى المطبقة علاقة الترابط التالية (8-3) و لتجنب حدوث تحنيب فتل جانبي يجب أن تتحقق العلاقة (8-4).

$$\frac{F_c}{P_c} + \frac{m_x M_x}{p_y Z_x} + \frac{m_y M_y}{p_y Z_y} \leq 1 \qquad (8\text{-}3)$$

$$\frac{F_c}{P_{cy}} + \frac{m_{LT} M_{LT}}{M_b} + \frac{m_y M_y}{p_y Z_y} \leq 1 \qquad (8\text{-}4)$$

حيث: P_{cy} طاقة التحمل على الضغط باعتبار التحنيب حول المحور y .

P_c طاقة التحمل على الضغط آخذين بالحسبان دراسة التحنيب حول كلا المحورين

M_b العزم المقاوم لتحنيب الفتل الجانبي ويحدد وفق الفقرة (5-5)

M_{LT} أكبر عزم حول المحور الرئيسي ضمن جزء العمود الذي تحكمه M_b

Z_y, Z_x معاملي المقطع المرن حول المحورين x و y

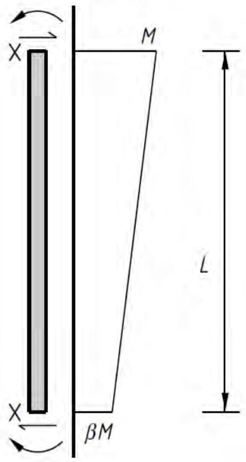
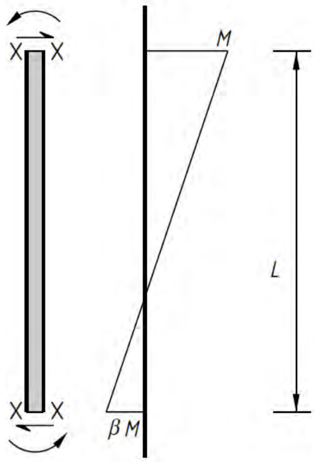
m_{LT} معامل العزم المنتظم المكافئ حول المحور x الخاص بتحنيب الفتل الجانبي ويحدد من الجدول (5-6).

m_y, m_x معاملي العزم المكافئ المنتظم والخاصين بالتحنيب الكلي حول المحورين x و y ويحددان من الجدول (8-1).

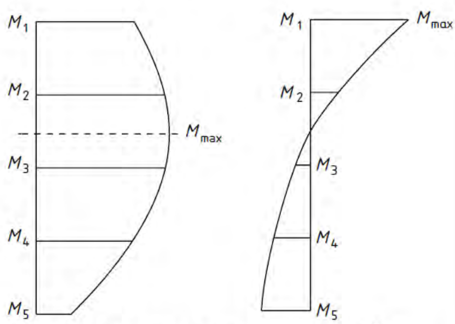
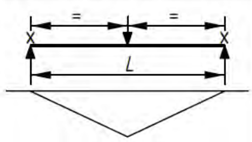
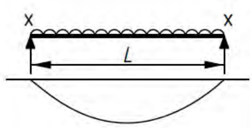
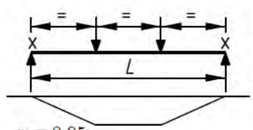
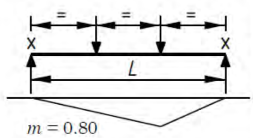
8–4 العناصر الخاضعة لانعطاف مركب Members with biaxial Moments

تصمم العناصر الخاضعة لانعطاف مركب وبدون وجود قوة ضغط محورية لتحقق الفقرتين السابقتين مع تعويض القوة F بالصفر في كل العلاقات (8-1-4).

الجدول (8-1) معامل العزم المكافئ المنتظم الخاص بالتحنيب الكلي m

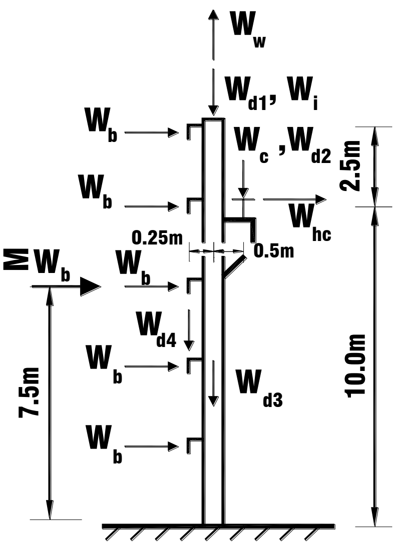
حالة وجود عزمين في طرفي العنصر فقط	β	m
β positive  β negative 	1.0	1.00
	0.9	0.96
	0.8	0.92
	0.7	0.88
	0.6	0.84
	0.5	0.80
	0.4	0.76
	0.3	0.72
	0.2	0.68
	0.1	0.64
	0.0	0.60
	– 0.1	0.58
	– 0.2	0.56
	– 0.3	0.54
	– 0.4	0.52
	– 0.5	0.50
	– 0.6	0.48
	– 0.7	0.46
	– 0.8	0.44
	– 0.9	0.42
	– 1.0	0.40

تابع الجدول (8-1) معامل العزم المكافئ المنتظم الخاص بالتحنيب الكلي m

أجزاء العمود بين القيود الجانبية	
الحالة العامة	**حالات خاصة**
 $m = 0.2 + \frac{0.1M_2 + 0.6M_3 + 0.1M_4}{M_{max}}$ but $m \ge \frac{0.8M_{24}}{M_{max}}$ M_2 و M_4 قيم العزم في نقطة الربع و M_3 قيمة العزم في المنتصف تُعد M_2، M_3، M_4 موجبة إذا وقعت في نفس الجهة وإلا فالجانب الذي يؤدي إلى قيمة أكبر لـ m يُعتبر موجباً M_{max} العزم الأعظمي في الجزء وM_{24} العزم الأعظمي في النصف الوسطي منه ويُعتبران دائماً موجبين	 $m = 0.90$
	 $m = 0.95$
	 $m = 0.95$
	 $m = 0.80$

مثال: (8-1)

صمم العمود المبين في الشكل أدناه من فولاذ ماركته S275



علماً أن الحمولات المطبقة هي كما يلي:

الأحمال الميتة:

$W_{d1} = 50\ kN$ رد الفعل الميت للجائز الشبكي

$W_{d2} = 20\ kN$ الوزن الذاتي لجائز الرافعة

$W_{d3} = 10\ kN$ الوزن الذاتي للعمود

$W_{d4} = 16\ kN$ الوزن الذاتي لتغطية الجدار

$\Sigma W_d = 96\ kN$ مجموع الأحمال الميتة

الأحمال الحية:

$W_i = 78\ kN$ رد الفعل الحي للجائز الشبكي

أحمال الرياح:

$W_w = -90\ kN$ رد فعل الجائز الشبكي (شد).

$W_b = 11\ kN$ رد فعل سكة الجدار

$\Sigma W_b = 55\ kN$ حاصلة رد فعل سكك الجدران

أحمال الرافعة : شاملةً الفعل الديناميكي

$W_c = 220\ kN$ حمل الرافعة الشاقولي

$W_{ch} = 6\ kN$ حمل فرملة الرافعة (أفقي)

بالعودة إلى الجدول (1-2) نجد أنه لا بد من تحقيق العمود على مجموعة من حالات التحميل:

العزم $M_x\ (kN.m)$	القوة الناظمية $F\ (kN)$	حالة التحميل
$1.4 \text{ x } (W_{d2} \text{ x } 0.5 - W_{d4} \text{ x } 0.25)$ $= 8.4$	$1.4\Sigma W_d + 1.6W_i$ $= 259.2$	1
$1.0 \text{ x } (W_{d2} \text{ x } 0.5 - W_{d4} \text{ x } 0.25)$ $+ 1.4 \text{ x } 7.5 \text{ x } \Sigma W_b = 583.5$	$1 \text{ x} \Sigma W_d + 1.4W_w$ $= -30$	2
$1.4 \text{ x } (W_{d2} \text{ x } 0.5 - W_{d4} \text{ x } 0.25)$ $+ 1.6 W_c \text{ x } 0.5 = 184.4$	$1.4\Sigma W_d + 1.6W_c$ $= 486.4$	3
$1.4\ (W_{d2} \text{ x } 0.5 - W_{d4} \text{ x } 0.25)$ $+ 1.4 W_c \text{ x } 0.5 + 1.4W_{ch} \text{ x } 10$ $= 246.4$	$1.4\Sigma W_d + 1.4W_c$ $= 442.4$	4
$1.2 (W_{d2} \text{ x } 0.5 - W_{d4} \text{ x } 0.25)$ $+ 1.6 W_c \text{ x } 0.5 = 183.2$	$1.2\Sigma W_d + 1.6W_i + 1.6W_c$ $= 592$	5
$1.2 (W_{d2} \text{ x } 0.5 - W_{d4} \text{ x } 0.25)$ $+ 1.4 (W_c \text{ x } 0.5 + W_{ch} \text{ x } 10)$ $= 245.2$	$1.2\Sigma W_d + 1.6W_i + 1.4W_c$ $= 548$	6
$1.2 (W_{d2} \text{ x } 0.5 - W_{d4} \text{ x } 0.25)$ $+ 1.2 \text{ x } 7.5 \text{ x } \Sigma W_b = 502.2$	$1.2\Sigma W_d + 1.2W_i + 1.2W_w$ $= 100.8$	7
$1.2 (W_{d2} \text{ x } 0.5 - W_{d4} \text{ x } 0.25)$ $+ 1.2W_c \text{ x } 0.5 + 1.2 \text{ x } 7.5 \text{ x } \Sigma W_b$ $= 634.2$	$1.2\Sigma Wd + 1.2W_c + 1.2W_w$ $= 271.2$	8
$1.2 (W_{d2} \text{ x } 0.5 - W_{d4} \text{ x } 0.25)$ $+ 1.2W_c \text{ x } 0.5 + 1.2 \text{ x } 7.5 \text{ x } \Sigma W_b$ $= 634.2$	$1.2\Sigma W_d + 1.2W_i + 1.2W_c$ $+ 1.2W_w = 364.8$	9

* لنجرب مقطع العمود $356 \text{ x } 368 \text{ x } 177\ UC$ ذا الخواص التالية:

$B = 372.6\ mm\ ,\ T = 23.8\ mm\ ,\ D = 368.2\ mm\ ,\ d = 290.2\ mm,$

$t = 14.4\ mm\ ,\ r_x = 15.9\ cm\ ,\ r_y = 9.54\ cm\ ,\ A_g = 226\ cm^2$

$Z_x = 3103 cm^3, Z_y = 1102 cm^3\ ,\ S_x = 3460\ cm^3$

– بما أن $T = 23.8\,mm$ فإن $p_y = 265\,N/mm^2$ حسب الجدول (2-1)

$\varepsilon = (275/p_y)^{1/2} = 1.02$

– بالعودة للجدول (2-2) نجد أن المقطع لدن لأن:

$b/T = 372.6 \text{ x } 0.5/23.8 = 7.83 < 9\,\varepsilon = 9.18$

$d/t = 290.2/14.4 = 20.2 < 40\,\varepsilon = 40.8$

* تحقيق طاقة تحمل العمود موضعياً:

نظراً لأن المقطع لدن، تُحدد طاقة تحمل العزم حول المحور x بالعلاقة (2-5):

$$M_{cx} = p_y S_x = 265 \text{ x } 3460 \text{ x } 10^{-3} = 917\,kNm$$

لتحقيق طاقة تحمل العمود موضعياً في أسفله (نقطة العزم الأعظمي) لا بد من تحقيق علاقة الترابط (8-1): $\frac{F_c}{A_g p_y} + \frac{M_x}{M_{cx}} \le 1$

وذلك من أجل حالات التحميل الخطرة وللتوضيح سنقوم بتحقيق كل حالات التحميل:

حالة التحميل	$F\,(kN)$	$M_x\,(kNm)$	$F_c/A_g p_y + M_x/M_{cx}$
1	259.2	8.4	0.05
2	-30	583.5	0.64
3	486.4	184.4	0.28
4	442.4	246.4	0.34
5	592	183.2	0.3
6	548	245.2	0.36
7	100.8	502.2	0.56
8	271.2	634.2	0.74
9	364.8	634.2	0.75

إذاً علاقة الترابط محققة في كل حالات التحميل وطاقة تحمل العنصر محققة موضعياً

* تحقيق التحنيب الكلي:

– بالعودة إلى الشكل (4-7) نحدد الطول الفعال حول كل من المحورين الرئيسيين للمقطع وبالتالي نسبة نحافته.

$L_{Ex} = 1.5 \text{ x } L = 1.5 \text{ x } 12.5 = 18.75\,m$

$\lambda_x = L_{Ex}/r_x = 18.75 \text{ x } 100/15.9 = 118$

$L_{Ey} = 0.85 \text{ x } L_1 = 0.85 \text{ x } 10.0 = 8.5\, m$

$\lambda_y = L_{Ey} / r_y = 8.5 \text{ x } 100 / 9.54 = 89$

- بالعودة إلى الجدول (4-2) نجد أنه يجب استخدام الجدولين (4-3b) و (4-3c) لاستخراج مقاومة الضغط حول المحورين x و y على الترتيب

$p_y = 265\, N/mm^2 \;,\; \lambda_x = 118 \Rightarrow p_{cx} = 109\, N/mm^2 \Rightarrow$

$P_{cx} = A_g \times p_{cx} = 226 \times 100 \times 109 \times 10^{-3} = 2463.4\, kN$

$p_y = 265\, N/mm^2 \;,\; \lambda_y = 89 \Rightarrow p_{cy} = 141\, N/mm^2 \Rightarrow$

$P_{cy} = A_g \times p_{cy} = 226 \times 100 \times 141 \times 10^{-3} = 3186.6\, kN$

إذاً: $P_c = P_{cx} = 2463.4\, kN$

- من الواضح أن أخطر حالات تراكب الأحمال هي الحالة (9) لذلك سنحقق كامل العمود على التحنيب الكل . وبما أن التحنيب سيحصل حول المحور x. لذا تصبح العلاقة (8-3) كما يلي:

$$\frac{F_c}{P_c} + \frac{m_x M_x}{p_y Z_x} \le 1$$

حيث

$$m_x = 0.2 + \frac{0.1M_2 + 0.6M_3 + 0.1M_4}{M_{max}} \ge \frac{0.8M_{24}}{M_{max}}$$

$M_2 = 198.3kNm$ و $M_4 = 445.8kNm$ العزمين في نقطتي ربع الإرتفاع و $M_3 = 303.9kNm$ العزم في نقطة منتصف الإرتفاع و $M_{24} = 445.8kNm$ العزم الأعظمي في النصف الوسطي من العمود و $M_{max} = 634.2kNm$ أكبر عزم يتعرض له العمود. إذاً:

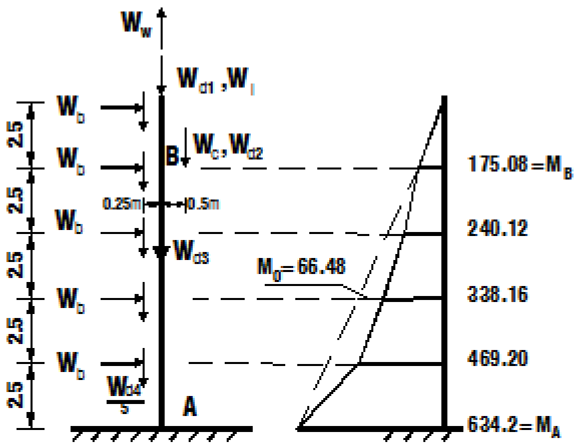
$$m_x = 0.2 + \frac{0.1 \times 198.3 + 0.6 \times 303.9 + 0.1 \times 404.8}{634.2} = 0.58 \ge \frac{0.8 \times 404.8}{634.2} = 0.51$$

ولكن حسب الفقرة (4.8.3.3.4) من الكود BS 5950 يجب أن لاتقل m_x عن 0.85 لأن العمود ظفري.

$$\frac{F_c}{P_c} + \frac{m_x M_x}{p_y Z_x} = \frac{364.8}{2463.4} + \frac{0.85 \times 634.2}{265 \times 3103 \times 10^{-3}} = 0.8 \le 1 \quad \text{ok}$$

- وسنحقق جزء العمود AB الواقع بين أساسه والجائز الحامل للرافعة على تحنيب

الفتل الجانبي وذلك على حالة تراكب الأحمال (9) أيضاً



- يعتمد العزم المقاوم لتحنيب الفتل الجانبي M_b دائماً على نسبة النحافة حول المحور الضعيف، وباعتبار أن الجناح المضغوط مقيد جانباً في موقعه عند طرفي الجزء المدروس (AB) وأن كلا الجناحين عند (B) غير ممنوعين تماماً من الدوران فإن الطول الفعال لهذا الجزء يحدد وفقاً للجدول (5-3) كمايلي:

$L_{Ey} = 0.85L_1 = 0.85 \text{ x } 10 = 8.5\, m \;\Rightarrow\; \lambda = L_{Ey} / r_y = 8.5 \text{ x } 100 / 9.54 = 89$

- مؤشر الفتل: $x = D / T = 368.2 / 23.8 = 15.5$

- معامل التحنيب: $u = 0.9$

- يحدد عامل النحافة (v) من الجدول (5-5) بدلالة $\lambda / x = 5.93$ والمعامل $\eta = 0.5$

فنجد: $v = 0.78$

- بما أن المقطع لدن فإن β_W=1

- تحدد نسبة النحافة المكافئة λ_{LT} وفق العلاقة (5-15) كمايلي:

$\lambda_{LT} = u\, v \lambda \sqrt{\beta_w} = 0.9 \times 0.78 \times 89 \times \sqrt{1} = 62.5$

- تحدد مقاومة الانعطاف p_b بالعودة إلى الجدول (5-7) وبدلالة p_y و λ_{LT}

فنجد : $p_b = 201\, N / mm^2$

- يحدد العزم المقاوم لتحنيب الفتل الجانبي M_b وفق العلاقة (5-11) كمايلي:

$M_b = p_b\, S_x = 201 \times 3460 \times 10^{-3} = 695.4\, kNm$

– يحدد معامل العزم المكافئ m_{LT} من الجدول (5-6) باعتبار أن مقطع العنصر متساوي الجناحين وأن الجزء المدروس محمل بقوى بين طرفيه

$$m_{LT} = 0.2 + \frac{0.15M_2 + 0.5M_3 + 0.15M_4}{M_{max}} \geq 0.44$$

العزمين في نقطتي ربع الجزء المدروس $M_4 = 469.2kNm$ و $M_2 = 240.12kNm$

و AB العزم في نقطة منتصف AB و $M_3 = 338.16kNm$

أكبر عزم يتعرض له AB. إذاً: $M_{max} = 634.2kNm$

$$m_{LT} = 0.2 + \frac{0.15 \times 240.12 + 0.5 \times 338.16 + 0.15 \times 469.2}{634.2} = 0.63 \geq 0.44$$

– بتطبيق علاقة الترابط (8-4) نجد

$$\frac{F_c}{P_{cy}} + \frac{m_{LT} M_{LT}}{M_b} = \frac{364.8}{3186.6} + \frac{0.63 \times 634.2}{695.4} = 0.69 < 1 \quad o.k.$$

إذاً العمود محقق موضعياً وعلى التحنيب الكلي وعلى تحنيب الفتل الجانبي.

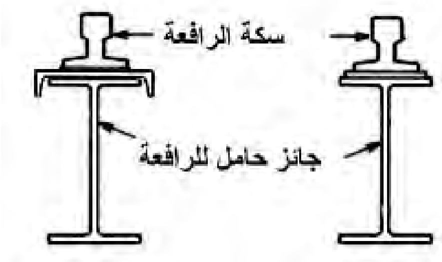
الفصل التاسع

الجائز الحامل للرافعة

Crane Girder

9–1 مقدمـة

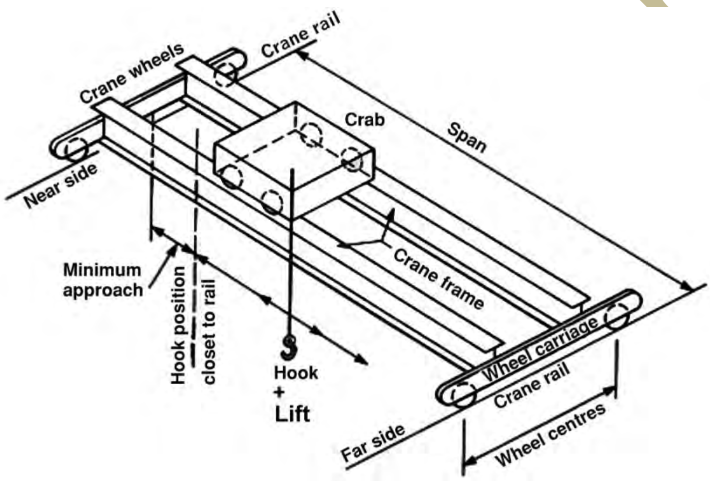
تحتوي الأبنية الصناعية عادةً على خطوط إنتاج تتطلب رفع وتحريك أحمال ثقيلة أثناء العمليات التصنيعية أو الصيانة، وتعد الروافع الجسرية الوسيلة الأفضل للقيام بذلك مغطية الجزء الأكبر من مساحة البناء. تستند هذه الروافع على أربعة دواليب تتحرك على سكة محمولة على جائز كالمبين في الشكل (9-1) يدعى بالجائز الحامل للرافعة، كما يُبين الشكل (9-2) الأجزاء الرئيسية لرافعة جسرية.



الشكل (9-1) جائز حامل للرافعة

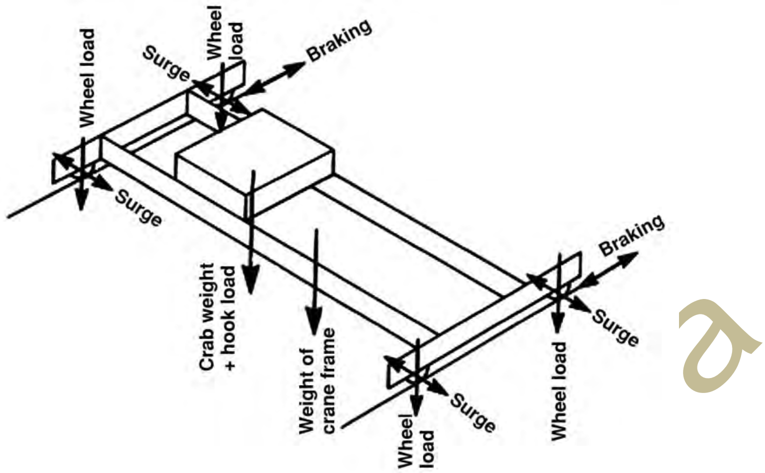
يتم حساب حمل الدولاب الواحد من خلال المعطيات التي يقدمها مصنّعي الروافع عن وزن كل جزء منها مع الانتباه إلى أن العربة والخطاف يمكن أن يتحركا على طول إطار الرافعة حتى يصلا إلى مسافة دنيا من الجائز الحامل للرافعة تسمى مسافة الاقتراب الأدنى، وعلى هذا الأساس يجب حساب حمل الدولابين القريبين إلى الجائز الحامل للرافعة إضافة إلى وزن إطار الرافعة الذي يقسم بالتساوي على أربعة دواليب. يصعد حمل الدولاب الواحد بـ 25% لأخذ الأثر الديناميكي الناتج عن حركة الرافعة بالحسبان وذلك للرافعات الصغيرة والمتوسطة، أما في حالة الرافعات العملاقة لا بد من العودة إلى المواصفات البريطانية BS 2573. إضافة إلى الحمل الشاقولي هناك

حملين أفقيين يُنقَلان عبر السكة إلى الجائز: الأول حمل جانبي متعامد مع السكة ينتج عن حركة وفرملة العربة على طول إطار الرافعة ويقدر بـ 10% من وزن العربة وحمل الخطاف، ويقسم عادة على أربعة دواليب ويؤثر في أي من الاتجاهين؛ أما الحمل الأفقي الثاني فينتج عن فرملة الرافعة ككل ويُطبَّق على طول السكة ويقدر بـ 5% من حمل الدواليب ويكون أعظمياً عندما يكون حمل الدواليب أعظمياً، إضافة إلى كل هذه الأحمال يجب أن لا ننسى الوزن الذاتي للجائز الحامل للرافعة ذاته. ويوضح الشكل (9-3) هذه الأحمال



الشكل (9-2) أجزاء الرافعة الجسرية

عند تصميم الجائز الحامل لرافعة وفقاً للحالة الحدية القصوى، يؤخذ عامل الأمان γ_f مساوياً 1.6 على الأحمال الحية الشاقولية ويؤخذ مساوياً 1.4 عند اعتبار تأثير الحملين الحيين الشاقولي والأفقي معاً.



الشكل (9-3) أحمال الرافعة

9-2 آثار الحمل الأعظمي Maximum load effects

يتغير عزم الانعطاف وقوة القص الناتجين عن حملي الدولابين في الجائز الحامل للرافعة بتغير موقع الدولابين على طول الجائز، ففي الجائز ذي الاستناد البسيط يحصل القص الأعظمي بجانب المسند مباشرةً، أما عزم الانعطاف الأعظمي يحصل بالقرب من منتصف الجائز وبشكل عام لا بد من استخدام خطوط التأثير لإيجاد مواقع الأحمال التي تنتج القص وعزم الانعطاف الأعظمين. ويبين الشكل (9-4) مواقع حملي الدولابين وعزم الانعطاف وقوة القص الأعظمين لجائز بسيط حيث تحدد القيم العظمى وفق العلاقات التالية:

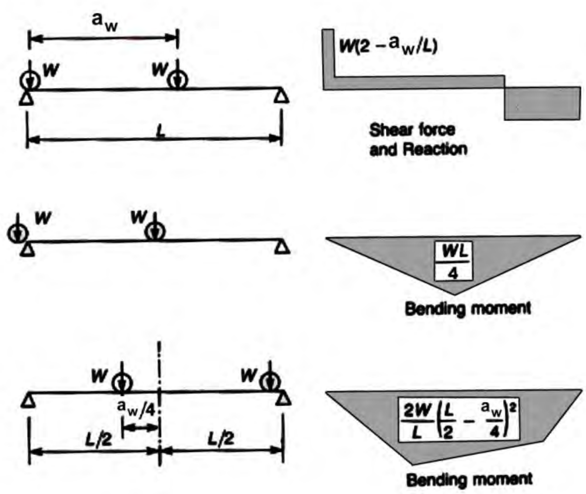
قوة القص العظمى
$$F_{max} = W(2 - a_w / L) \qquad (9\text{-}1)$$

عزم الانعطاف الأعظمي
$$M_{max} = W\,L/4 \qquad (9\text{-}2)$$

أو
$$M_{max} = 2W\,(L/2 - a_w/4)^2 / L \qquad (9\text{-}3)$$

رد الفعل الأعظمي
$$R_{max} = W(2 - a_w / L) \qquad (9\text{-}4)$$

حيث تمثل W حمل الدولاب.



الشكل (9-4) عزم الانعطاف وقوة القص الأعظميين

9-3 تصميم الجائز الحامل للرافعة

يتم تصميم الجائز الحامل للرافعة كعنصر منعطف كما جاء في الفصل الخامس ولكن مع الأخذ بالحسبان النقاط التالية:

* يؤخذ معامل العزم المكافئ المنتظم $m_{LT}=1.0$ لأن الجائز حامل للرافعة طبقاً للفقرة 4.11.3 من الكود BS 5950 .

* وفقاً للفقرة B 2.5 من الكود BS 5950 يُحسب مؤشر الفتل x وفق العلاقة التالية:

$$x = 0.566\,h_s\,(A/j)^{1/2} \qquad (9\text{-}5)$$

حيث: h_s المسافة بين مركزي قص الجناحين كما في الشكل (9-5)

A مساحة مقطع الجائز ويحسب بالعلاقة التالية:

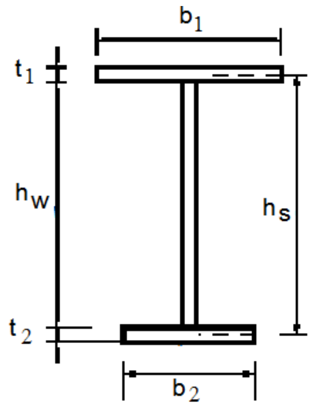
$$A = \sum b_i\,t_i + h_w\,t_w \qquad (9\text{-}6)$$

j ثابت فتل المقطع ويحسب من العلاقة التقريبية التالية:

$$j = (\sum b_i\,t_i^3 + h_w\,t_w^3)/3 \qquad (9\text{-}7)$$

b_i , t_i عرض وسماكة صفيحة الجناحين i

t_w ، h_w ارتفاع وسماكة جسد المقطع.



الشكل (9-5)

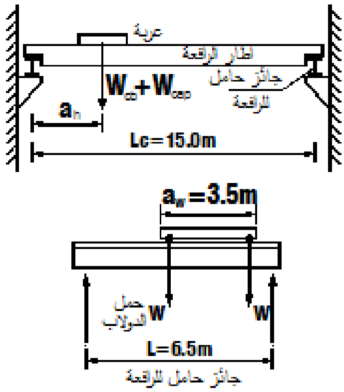
* يتم حساب الضغط المحلي على جسد المقطع تحت دولاب الرافعة بتوزيع حمل الدولاب بزاوية 45° عبر السكة وجناح المقطع، فيحدد طول التحميل بالعلاقة التالية:

$$x_R = 2(H_R + T) \qquad (9\text{-}8)$$

حيث: H_R ارتفاع السكة و T سماكة جناح الجائز.

* تحسب مقاومة تحنيب القص دون استخدام فعل حقل الشد.
* عند استخدام اللحام في تصنيع الجائز الحامل للرافعة يجب أن يكون اللحام مستمراً على كامل طول العناصر الملحومة.

مثال 9-1 صمم جائزاً حاملاً للرافعة مجازة 6.5m من فولاذ ماركته S275 مستخدماً مقطعاً قياسياً UB مع صفيحة ملحومة إلى جناحه العلوي، بحيث يستطيع حمل رافعة جسرية متوسطة الاستطاعة مواصفاتها كمايلي: مجاز الرافعة $L_c = 15.0m$ المسافة بين دولابيها $a_w = 3.5m$	



مسافة الاقتراب الأدنى $a_h = 0.7m$

وزن إطار الرافعة $W_c = 200\, kN$

وزن العربة $W_{cb} = 40\, kN$

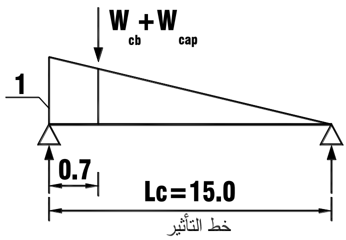
حمل الخطاف $W_{cap} = 120\, kN$

المعامل الديناميكي يساوي 1.25

الحل:

1) حساب أحمال الدولاب الواحد

* الأحمال الحية الشاقولية: بالعودة إلى خط التأثير المبين أدناه نجد:



– الحمل الناتج عن الخطاف

$W_1 = 120\,(15-0.7)\,/\,(15 \text{ x } 2) = 57.2\, kN$

– الحمل الناتج عن وزن العربة

$W_2 = 40\,(15-0.7)\,/\,(15 \text{ x } 2) = 19\;\; kN$

– الحمل الناتج عن وزن إطار الرافعة

$W_3 = 200/4 = 50\;\; kN$

– مجموع الأحمال الشاقولية العظمى على الدولاب

$W_4 = W_1 + W_2 + W_3 = 126\, kN$

– حمل الدولاب مصعّداً بالمعامل الديناميكي وبعامل الأمان

$\gamma_f = 1.6$

$W_{v1} = 1.25 \text{ x } 1.6 \text{ x } 126 = 252.4\, kN$

– حمل الدولاب مصعّداً بالمعامل الديناميكي وبعامل الأمان

$\gamma_f = 1.4$

$W_{v2} = 1.25 \text{ x } 1.4 \text{ x } 126 = 220.5 \; kN$

* الأحمال الحية الأفقية:

– الحمل المتعامد مع السكة ويساوي 10 % من حمل الخطاف ووزن العربة مقسوماً على عدد الدواليب مصعّداً بعامل أمان

$\gamma_f = 1.4$

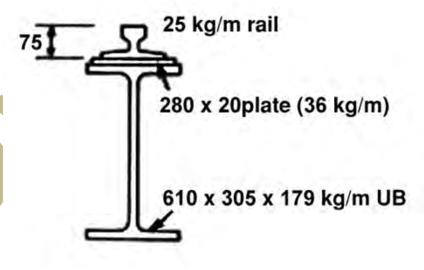
$W_{h1} = 1.4 \text{ x } 0.1 (120 + 40) /4 = 5.6 \; kN$

– الحمل الموازي للسكة ويساوي 5 % من حمل الدولاب الشاقولي الأعظمي (W_4) مصعّداً بعامل أمان قدره $\gamma_f = 1.6$ أي:

$W_{h2} = 0.05 \text{ x} 1.6 \text{ x } 126 = 10.1 \quad kN$ per wheel

2) اختيار مقطع الجائز الحامل للرافعة

سنجرب مقطعاً قياسياً UB 610 x305 x 179 مع صفيحة تقوية $280 \text{ x} 20 \; mm$ على طول الجناح العلوي كما هو مبين في الشكل أدناه. تستخدم هذه الصفيحة لتقوي الجناح العلوي الذي سيتحمل مع صفيحة التقوية القوى الأفقية المتعامدة مع السكة.



يحسب الوزن الميت للجائز بإضافة وزن صفيحة التقوية $(0.36 \, kN/m)$ ووزن السكة ($0.25 \, kN/m$ فرضاً) إلى الوزن الذاتي للمقطع القياسي فينتج:

$W_d = 1.4 \text{ x } (1.79 + 0.36 + 0.25) \text{ x } 6.5 = 21.8 \quad kN$

3) حساب عزم الانعطاف وقوة القص

* عزم الانعطاف الأعظمي الناتج عن الأحمال الشاقولية

- عزم الانعطاف الناتج عن أحمال الدولابين عندما يُطبَّقان دون أحمال أفقية

إما $M_1 = W_{v1} L/4 = 252.4 \text{ x } 6.5/4 = 410 \quad kN\,m$

أو $M_2 = 2W_{v1}\,(L/2 - a_w/4)^2/L$

$= 2 \text{ x } 252.4\,(6.5/2 - 3.5/4)^2/6.5 = 437 \quad kN\,m$

- عزم الانعطاف الناتج عن الوزن الذاتي للجائز وعن أحمال الدولابين عندما يُطبَّقان دون أحمال أفقية

$M_{x1} = M_2 + W_d\,L/8 = 437 + 21.8 \text{ x } 6.5/8 = 455 \quad kN\,m$

- عزم الانعطاف الناتج عن أحمال الدولابين مع وجود أحمال أفقية

إما $M_3 = W_{v2}\,L/4 = 220.5 \text{ x } 6.5/4 = 358 \quad kN\,m$

أو $M_4 = 2W_{v2}\,(L/2 - a_w/4)^2/L$

$= 2 \text{ x } 220.5\,(6.5/2 - 3.5/4)^2/6.5 = 382 \quad kN\,m$

- عزم الانعطاف الناتج عن الوزن الذاتي للجائز وعن أحمال الدولابين مع وجود أحمال أفقية

$M_{x2} = M_4 + W_d\,L/8 = 382 + 21.8 \text{ x } 6.5/8 = 400 \quad \text{kNm}$

* عزم الانعطاف الأعظمي الناتج عن الأحمال الأفقية

إما $M_5 = W_{h1}\,L/4 = 5.6 \text{ x } 6.5/4 = 9.1 \quad kN\,m$

أو $M_6 = 2W_{h1}\,(L/2 - a_w/4)^2/L$

$= 2 \text{ x } 5.6(6.5/2 - 3.5/4)^2/6.5 = 9.7 \quad kN\,m$

إذاً $M_y = M_6 = 9.7 \quad kN\,m$

* القص الشاقولي الأعظمي الناتج عن الأحمال الشاقولية

- القص الشاقولي الأعظمي الناتج عن الدولابين دون وجود أحمال أفقية.

$F_{v1} = W_{v1}(2 - a_w/L) = 252.4\,(2 - 3.5/6.5) = 369 \quad kN$

- القص الشاقولي الناتج عن الوزن الذاتي وعن أحمال الدولابين

عندما يُطبَّقان دون أحمال أفقية

$$F_{x1} = F_{v1} + W_d / 2 = 369 + 21.8/2 = 380 \quad kN$$

- القص الشاقولي الأعظمي الناتج عن أحمال الدولابين مع وجود أحمال أفقية.

$$F_{v2} = W_{v2}(2 - a_w / L) = 220.5\,(2 - 3.5/6.5) = 322.5 \quad kN$$

- القص الشاقولي الناتج عن الوزن الذاتي للجائز وعن أحمال الدولابين مع وجود أحمال أفقية

$$F_{x2} = F_{v2} + W_d / 2 = 322.5 + 21.8/2 = 333.4 \quad kN$$

* القص الأعظمي الناتج عن الأحمال الأفقية

$$F_y = W_{h1}(2 - a_w / L) = 5.6\,(2 - 3.5/6.5) = 8.2 \quad kN$$

ونلخص في الجدول التالي عزم الانعطاف والقص الأعظميين

$F_y\ (kN)$	$F_x\ (kN)$	$M_y\ (kN\,m)$	$M_x\ (kN\,m)$	حالة التحميل
–	380	–	455	بحمل الحمل الشاقولي دون الحمل الأفقي
8.2	333.4	9.7	400	بحمل الحمل الشاقولي مع الحمل الأفقي

4) خصائص المقطع المجمع

- خصائص المقطع القياسي المستخدم 610 x 305 x 179 UB هي

$D = 620.2\,mm$, $B = 307.1\,mm$, $t = 14.1mm$, $T = 23.6mm$,

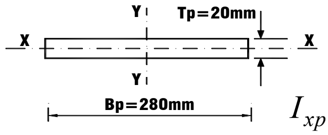
$r = 16.5mm$, $d = 540mm$, $A_B = 228cm^2$, $I_{xB} = 153000\,cm^4$

$I_{yB} = 11410\,cm^4$, $r_x = 25.9\,cm$, $r_y = 7.07\,cm$

$Z_{xB} = 4935\ cm^3,\ Z_{yB} = 743\ cm^3,\ S_{xB} = 5547\ cm^3,$

$S_{yB} = 1144\ cm^3$

– خصائص صفيحة التقوية



$$A_P = 280 \text{ x } 20 \text{ x } 10^{-2} = 56\ cm^2$$

$$I_{xp} = 280 \text{ x } 20^3 \text{ x } 10^{-4} / 12 = 18.7\ cm^4$$

$$I_{yp} = 20 \text{ x } 280^3 \text{ x } 10^{-4} / 12 = 3658.7\ cm^4$$

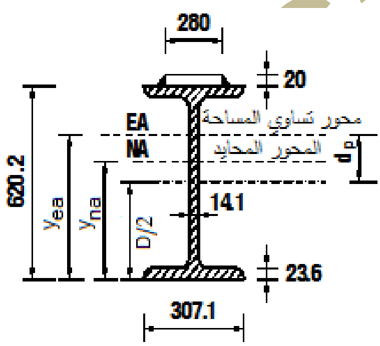
– يحدد بعد المحور المحايد عن الجناح السفلي y_{na} كما يلي:

$$y_{na}(A_B + A_p) = A_B\ D/2 + A_p(D + T_p/2)$$

$$y_{na} = \frac{228 \text{ x } 10^2 \text{ x } 620.2 \text{ x } 0.5 + 56 \text{ x } 10^2 (620.2 + 20 \text{ x } 0.5)}{(228 + 56) \text{ x } 10^2}$$

$$= 373.3\ mm$$

- ومنه تحسب المسافة بين مركز ثقل المقطع القياسي والمحور المحايد



$$d_e = y_{na} - D/2$$

$$= 373.3 - 620.2 \text{ x } 0.5$$

$$= 63.2\ mm$$

- يحدد بعد محور تساوي المساحة d_p عن مركز ثقل المقطع القياسي كما يلي:

$$A_B/2 + td_p = A_B/2 - td_p + A_p \Rightarrow$$

$$d_p = A_p / 2t = 56 \text{ x } 10^2 / 2 \text{ x } 14.1 = 198.6\ mm$$

– ومنه يحدد بعد محور تساوي المساحة عن الجناح السفلي

$$y_{ea} = d_p + D/2 = 198.6 + 620.2 \text{ x } 0.5 = 508.7\ mm$$

– معامل المقطع اللدن حول محور تساوي المساحة

$$S_x = S_{xB} + td_p^2 + A_p(D/2 + T_p/2 - d_p)$$
$$= 5547 \text{ x } 10^3 + 14.1 \text{ x } 198.6^2 +$$
$$56 \text{ x } 100\,(620.2 \text{ x } 0.5 + 20 \text{ x } 0.5 - 198.6) = 6783 \;\; cm^3$$

– معامل الجناح العلوي اللدن حول محوره الشاقولي

$$S_{yf} = (23.6 \text{ x } 307.1^2/4 + 20 \text{ x } 280^2/4) \text{ x } 10^{-3} = 948 \;\; cm^3$$

– عزم عطالة المقطع المجمع ومعامله المرن حول المحور المحايد

$$I_x = I_{xB} + A_B\, d_e^2 + I_{xp} + A_p(D + T_p/2 - y_{na})^2$$
$$I_x = 153000 \text{ x } 10^4 + 228 \text{ x } 10^2 \text{ x } 63.2^2 + 18.7 \text{ x } 10^4$$
$$+ 56 \text{ x } 10^2 \text{ x } (620.2 + 20 \text{ x } 0.5 - 373.3)^2 = 199084\, cm^4$$
$$Z_x = I_x / y_{na} = 199084/373.3 = 5333\, cm^3$$

– عزم عطالة المقطع المجمع ونصف قطر عطالته حول محور شاقولي مار بمركز ثقله

$$I_y = I_{yB} + I_{yp} = 11410 + 3658.7 = 15068.7\, cm^4$$
$$r_y = \sqrt{I_y / A} = \sqrt{15068.7/(228+56)} = 7.28\, cm$$

– عزم عطالة الجناح السفلي حول المحور الشاقولي ذاته

$$I_{tf} = 23.6 \text{ x } 307.1^3/(12 \text{ x } 10^4) = 5690\, cm^3$$

– عزم عطالة الجناح العلوي ومعامل مقطعه المرن حول المحور الشاقولي ذاته

$$I_{cf} = I_{tf} + 20 \text{ x } 280^3/(12 \text{ x } 10^4) = 9350\, cm^3$$
$$Z_{yf} = 2I_{cf}/B = 2 \text{ x } 9350/30.71 = 609\, cm^3$$

5) تصنيف المقطع

الجدول (2-1) – بما أن $T = 23.6\, mm$ فإن $p_y = 265 \;\; N/mm^2$

و $\varepsilon = (275/265)^{1/2} = 1.02$

– المقطع مدمج لأن:

الجدول (2-2)	$b/T = B/2T = 307.1/2 \text{ x } 23.6 = 6.5 < 10\,\varepsilon = 10.2$ $d/t = 540/14.1 = 38.3 < 100\,\varepsilon = 102$ $b/T_p = 280/20 = 14 < 32\,\varepsilon = 32.6$ لصفيحة التقوية يكفي أن نتأكد من أن المقطع مدمج لأن الجائز ذو استناد بسيط ولا يحتاج إلى طاقة دوران لدنة. – لا حاجة لتحقيق تحنيب القص لأن $d/t = 38.3 < 62\,\varepsilon = 63.2$ 6) تحقيق طاقة تحمل القص – القص الشاقولي
العلاقة (5-1)	$\left.\begin{array}{l} P_{vx} = 0.6\,p_y\,A_v \\ A_v = tD \end{array}\right\} \Rightarrow \begin{array}{l} P_{vx} = 0.6 \text{ x } 265 \text{ x} 14.1 \text{ x } 620.2 \text{ x } 10^{-3} \\ P_{vx} = 1390\,kN > F_x = 380\,kN \quad o.k \end{array}$ $F_x / p_{vx} = 0.27$ – القص الأفقي $P_{vy} = 0.6\,p_y (B \text{ x } T + b\,T_p) = 0.6 \text{ x} 265 (307.1 \text{ x} 23.6 + 280 \text{ x } 20) \text{ x } 10^{-3}$ $= 2030\;kN > F_y = 8.2\;kN \qquad o.k$ $F_y / p_{vy} = 0.04$ 7) تحقيق طاقة تحمل العزم – بما أن $F_x < 0.6\,P_{vx}$ تحدد طاقة تحمل العزم الشاقولي بالعلاقة:
العلاقة (5-2)	$M_{cx} = p_y\,S_x \leq 1.2\,p_y\,Z_x$ إما $M_{cx} = 265 \text{ x } 6783 \text{ x } 10^{-3} = 1797 \quad kN\,m$ أو $M_{cx} = 1.2 \text{ x } 265 \text{ x } 5333 = 1695 \quad kN\,m$ إذاً نأخذ أصغر القيمتين $M_{cx} = 1695 \quad kN\,m$ – عندما يكون الحمل الشاقولي مطبقاً فقط فإن $M_{cx} = 1695\;kN\,m > M_x = 455\;kN\,m \qquad o.k.$ – بما أن $F_y < 0.6\,P_{vy}$ تحدد طاقة تحمل العزم الأفقي بالعلاقة:
العلاقة (5-2)	$M_{cy} = p_y\,S_{yf} \leq 1.2\,p_y\,Z_{yf}$

حيث S_{yf} و Z_{yf} معاملي المقطع اللدن والمرن على الترتيب للجناح العلوي

إما $M_{cy} = 265 \text{ x } 948 \text{ x } 10^{-3} = 251 \;\; kN\,m$

أو $M_{cy} = 1.2 \text{ x } 265 \text{ x } 609 \text{ x } 10^{-3} = 193 \;\; kN\,m$

إذاً نأخذ أصغر القيمتين $M_{cy} = 193 \;\; kN\,m$

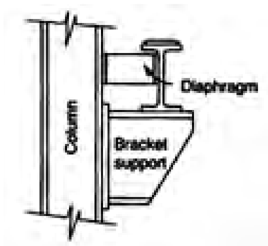
– تحقيق الانعطاف المركب

عندما تكون الأحمال الشاقولية والأفقية مطبقة معاً يتعرض الجناح العلوي إلى انعطاف مركب، لذا يجب تحقيقه وفق علاقة الترابط (8-1) مع تعويض $F = 0$ فتصبح العلاقة كما يلي:

العلاقة (8-1)

$$\frac{M_x}{M_{cx}} + \frac{M_y}{M_{cy}} \leq 1 \Rightarrow \frac{400}{1695} + \frac{9.7}{193} = 0.29 < 1 \qquad o.k.$$

8) تحقيق تجنيب الفتل الجانبي:



بما أن الجائز مقيد في موضعه فقط عند مسنديه كما هو مبين في الشكل فإن الجناح العلوي غير مقيد وبالتالي الجناح العلوي والحمل حران في الحركة جانبياً.

إذاً يمكن أن يكون الحمل مساعداً في عدم استقرار الجناح العلوي. بناءً على ما تقدم نحدد الطول الفعال للجائز كما يلي:

الجدول (5-3)

$$L_E = 1.2\,L + 2\,D$$

$$L_E = 1.2 \text{ x } 6.5 + 2\,(620.2 + 20) \text{ x } 10^{-3} = 9.08\,m$$

– نسبة النحافة $\lambda = L_E / r_y = 9.08 \text{ x } 10^2 / 7.28 = 125$

– معامل التجنيب $u = 1$

العلاقة (9-6)

– مؤشر الفتل : يحدد وفق العلاقة $x = 0.566\,h_s\,(A/j)^{1/2}$

$h_s = D + T_p - T/2 - (T + T_p)/2$

$= 620.2 + 20 - 23.6 \text{ x } 0.5 - (23.6 + 20) \text{ x } 0.5 = 608.6 \;\; mm$

$A = A_B + A_p = 228 + 56 = 284 \;\; cm^2$

$j = (\Sigma b_i \, t_i^3 + h_w \, t_w^3)/3$

$j = \left[2 \text{ x } 307.1 \text{ x } 23.6^3 + 280 \text{ x } 20^3 + (620.2 - 2 \text{ x } 23.6) \text{ x } 14.1^3\right]$

$\text{x } 10^{-4} / 3 = 397.3 \;\; cm^4$

$x = 0.566 \text{ x } 60.86\,(284/397.3)^{1/2} = 29.12$

– يحدد معامل النحافة v من الجدول (5-5) بدلالة

$\lambda / x = 125/29.12 = 4.3$

الجدول (5-4) $\eta = I_{cf} / \;(I_{cf} + I_{tf}) = 9350/(9350 + 5690) = 0.6$

فنجد: $v = 0.80$

العلاقة (5-15) – إذاً تحدد نسبة النحافة المكافئة λ_{LT} وفق العلاقة التالية

$\lambda_{LT} = uv\lambda\sqrt{\beta_w} = 1 \times 0.8 \times 125 \times \sqrt{1} = 100$

– تحدد مقاومة الانعطاف p_b من الجدول (5-8) بدلالة λ_{LT} و p_y

فنجد: $p_b = 120 \; N/mm^2$

– يحدد العزم المقاوم لتحنيب الفتل الجانبي للجائز وفق العلاقة

$M_b = p_b \, S_x = 120 \text{ x } 6783 \text{ x } 10^{-3} = 814 \;\; kNm$

– يؤخذ معامل العزم المنتظم المكافئ $m_{LT} = 1$

– إذاً الجائز محقق ضد تحنيب الفتل الجانبي في حالة الأحمال الشاقولية دون الأفقية لأن:

$M_b = 814 \;\; kNm > m_{LT} \, M_x = 1 \text{ x } 455 = 455 \, kNm \;\; o.k.$

كذلك الجائز محقق ضد تحنيب الفتل الجانبي في حالة تواجد الأحمال الشاقولية والأفقية معاً ونبرهن على ذلك بتطبيق العلاقة (4-8) مع حذف حد القوة المحورية لتصبح كما يلي:

$$\frac{m_{LT}\,M_x}{M_b} + \frac{m_y\,M_y}{p_y\,Z_y} \leq 1$$

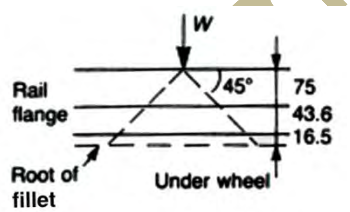
حيث $Z_y = Z_{yf}$ معامل المقطع المرن للجناح العلوي و $m_y = 1$

$$\frac{1 \text{ x } 400}{814} + \frac{1 \text{ x } 9.7}{265 \text{ x } 609 \text{ x } 10^{-3}} = 0.55 < 1 \quad o.k.$$

9) تحقيق تحمّل (دهس) الجسد

يجب تحقيق تحمّل جسد المقطع أيضاً عند نقاط تطبيق الأحمال المركزة أي تحت حمل الدولاب الأعظمي وعند نقطة استناد الجائز

* تحت حمل الدولاب الأعظمي: يبين الشكل أدناه انتشار حمل الدولاب بزاوية °45 في مقطع الجائز.



$x = x_R + 2r$

حيث $r = 16.5\,mm$

$x_R = 2(H_R + T + T_b) = 2(75 + 23.6 + 20) = 237.2\,mm$

$x = 237.2 + 2 \text{ x } 16.5 = 270.2\,mm$

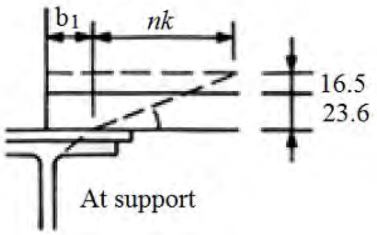
– يحدد تحمل الجسد وفق العلاقة

$P_{bw} = xtp_{yw} = 270.2 \text{ x } 14.1 \text{ x } 265 \text{ x } 10^{-3}$

$= 1009\ kN > W_{v1} = 252.4\ kN \qquad o.k.$

* عند المسند

– يبين الشكل أدناه انتشار رد الفعل في جسد المقطع بفرض أن سطح الإستناد الصلب $b_1 = 75\,mm$



– يحدد تحمل الجسد بالعلاقة

العلاقة (5-19)

$$P_{bw} = (b_1 + nk)\, t\, p_{yw}$$

$$nk = 2.0\,(T + r)$$

$$= 2.0\,(23.6 + 16.5) = 80.2\ mm$$

$$P_{bw} = (75 + 82.5) \text{ x } 14.1 \text{ x } 265 \text{ x } 10^{-3}$$

$$= 588\ \ kN > F_x = 380\ \ kN \qquad o.k.$$

10) تحقيق تحنيب الجسد

يجب تحقيق جسد المقطع على التحنيب عند نقاط تطبيق الأحمال المركزة أي تحت حمل الدولاب الأعظمي وعند نقطة استناد الجائز.

* تحت حمل الدولاب الأعظمي $W_{v1} = 252.4\ \ kN$

– تحدد مقاومة الجسد للتحنيب بالعلاقة:

العلاقة (5-20)

$$P_X = \frac{25\,\varepsilon\, t}{\sqrt{(b_1 + n\,k)\,d}}\, P_{bw}$$

بفرض ارتفاع السكة *75 mm* فيحدد سطح التحميل:

$$b_1 = 2 \text{ x } 75 = 150\, mm$$

$$nk = n(T + T_p + r) = 5 \times (23.6 + 20 + 16.5) = 300.5\, mm$$

$$P_X = \frac{25 \times 1.02 \times 14.1}{\sqrt{(150 + 300.5)\,540}} \times 588 = 428\, kN$$

العلاقة (5-21)

$$P_{XR} = \frac{0.7d}{L_E} P_X = \frac{0.7 \times 540}{540} \times 428 = 300\, kN > 252.4\, kN \quad ok$$

* عند المسند حيث رد فعل الجائز الأعظمي $F_x = 380\ \ kN$

– على فرض سطح الاستناد الصلب $b_1 = 75\, mm$

– تحدد مقاومة الجسد للتحنيب بالعلاقة:

$$P_X = \frac{a_e + 0.7d}{1.4\,d}\,\frac{25\,\varepsilon\,t}{\sqrt{(b_1 + n\,k)\,d}}\,P_{bw}$$

$$= \frac{0.5\times 75 + 0.7\times 540}{1.4\times 540}\times\frac{25\times 1.02\times 14.1}{\sqrt{(75+80.2)\,540}}\times 588$$

$$= 401kN > 380kN \quad ok$$

بما أن الجناح المحمّل ممنوع من الإنتقال الجانبي والدوران عند نقطة الإستناد فإن:

$$P_{XR} = \frac{0.7d}{L_E}P_X = \frac{0.7\times 540}{0.7\times 540}\times 421 = 421kN > 380kN \quad ok$$

11) تحقيق السهوم

يحدد السهمان الشاقولي والأفقي المسموح بهما الناتجان عن حملي الرافعة الشاقولي والأفقي بالعودة إلى الجدول (3-1) كما يلي:

الجدول (3-1)	السهم الشاقولي $\delta_{v\,\lim} = L/600 = 6.5\,\text{x}\,10^3/600 = 10.8\,mm$
	السهم الأفقي $\delta_{h\,\lim} = L/500 = 6.5\,\text{x}\,10^3/500 = 13\,mm$

* يحدد السهم الشاقولي الناتج عن حمل الرافعة الساكن غير المصعد بتوضيع دولابي الرافعة بشكل متناظر حول منتصف مجاز الجائز بالعلاقة التالية:

$$\delta_{v\max} = \frac{W_{vs}\,L^3}{6\,E\,I_x}\left[\frac{3}{8}\left(1-\frac{a_w}{L}\right)-\left(\frac{L-a_w}{2L}\right)^3\right]$$

حيث W_{vs} الحمل الشاقولي للدولاب الواحد الساكن دون تصعيد أي:

$$W_{vs} = W_{v1}/(1.6\,\text{x}\,1.25) = 252.4/(1.6\,\text{x}\,1.25) = 126.2\ kN$$

معامل المرونة $E = 205\ \ kN/mm^2$

عزم عطالة مقطع الجائز الحامل للرافعة $I_x = 199084\,\text{x}\,10^4\ mm^4$

المسافة بين الدولابين $a_w = 3.5\,\text{x}\,10^3\ mm$

مجاز الجائز الحامل للرافعة $L = 6.5\,\text{x}\,10^3\ mm$

$$\delta_{v\,max} = \frac{126.2 \text{ x } 6.5^3 \text{ x } 10^9}{6 \text{ x } 205 \text{ x } 199084 \text{ x } 10^4} \left[\frac{3}{8}\left(1 - \frac{3.5}{6.5}\right) - \left(\frac{6.5-3.5}{2 \text{ x } 6.5}\right)^3 \right]$$

$$= 2.27\, mm < \delta_{v\,lin} \qquad o.k.$$

* يحدد السهم الأفقي الناتج عن حمل فرملة العربة غير المصعّد بتوضيع دولابي الرافعة حول منتصف مجاز الجائز بالعلاقة التالية:

$$\delta_{h\,max} = \frac{W_{hs} L^3}{6E\, I_{cf}} \left[\frac{3}{8}\left(1 - \frac{a_w}{L}\right) \text{-} \left(\frac{L - a_w}{2\,L}\right)^3 \right]$$

حيث:

الحمل الأفقي لدولاب واحد $W_{hs} = W_{h1} / 1.4 = 5.6/1.4 = 4.0\ kN$

عزم عطالة الجناح العلوي $I_{cf} = 9350 \text{ x } 10^4\ mm^4$

$$\delta_{h\,max} = \frac{4 \text{ x } 6.5^3 \text{ x } 10^9}{6 \text{ x } 205 \text{ x } 9350 \text{ x } 10^4} \left[\frac{3}{8}\left(1 - \frac{3.5}{6.5}\right) - \left(\frac{6.5-3.5}{2 \text{ x } 6.5}\right)^3 \right]$$

$$= 1.8\ mm < \delta_{h\,lim} \qquad o.k.$$

الفصل العاشر

تصميـم الوصـلات

Design of Connections

10-1 مقدمة

يُبذل عادةً جهد كبير على اختيار الجمل الإنشائية الأنسب وعلى تصميم عناصرها بحيث تحقق الأمان والاقتصاد دون التحليل الدقيق لوصلات هذه العناصر وهذا ما يثبته أن أغلب حالات انهيار المنشآت الفولاذية ينتج عن خلل في وصلاتها. ولهذا يجب تركيز الانتباه على وصل العناصر الإنشائية ببعضها بحيث يتم تأمين الانسجام الكامل مع الفرضيات التي تم تحليل الجمل الإنشائية وفقها والتي بني تصميم العناصر عليها. ولكي نقوم بدراسة مفصلة لهذا الموضوع يجب أن نميز بين الوصلة نفسها وبين الروابط التي تؤمّن تجميع وربط الوصلة. يستخدم بشكل شائع نوعان من عناصر الربط، إما البراغي أو اللحام وسنقوم في هذا الفصل بدراستهما ودراسة بعض الأنواع الشهيرة من الوصلات.

10-2 البراغي Bolts

إن أشهر أنواع البراغي المستعملة في وصلات المنشآت الفولاذية هي البراغي السوداء ذات الماركة 4.6 والبراغي عالية المقاومة ذات الماركة 8.8 ، حيث يدل الرقم الأول من الماركة على عشر مقاومة شد مادة البرغي مقدرة بالكيلو غرام لكل ميليمتر مربع، أما الرقم الثاني فيدل على النسبة بين إجهاد السيلان ومقاومة الشد. أي أن مقاومة شد البراغي ذات الماركة 4.6 هي $40\,kg/mm^2$ أما إجهاد سيلانها فهو $0.6 \text{ x } 40 = 24\,kg/mm^2$

10-2-1 اعتبارات هندسية

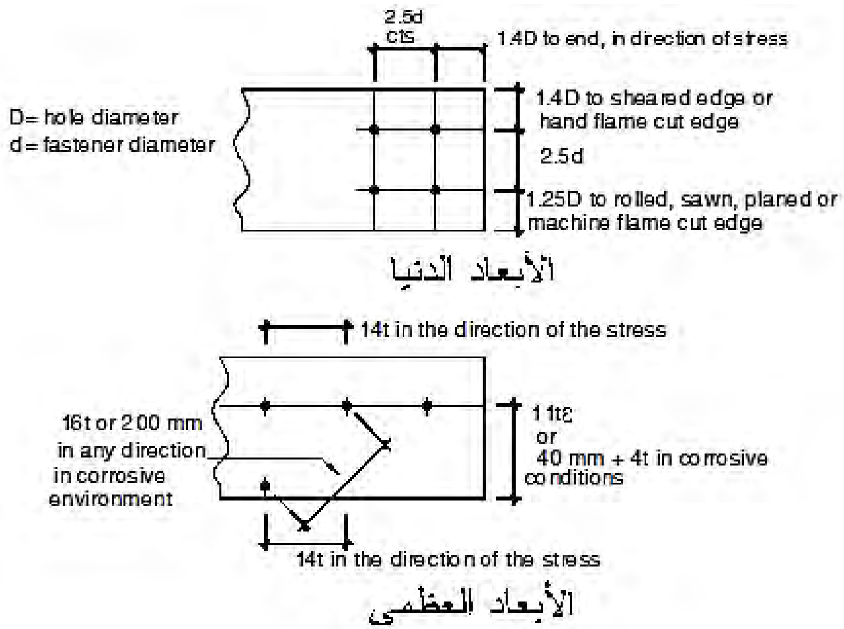
* بغية تسهيل تثبيت البراغي، ينفَّذ قطر الثقب المعدّ في الوصلة أكبر قليلاً من قطر البراغي بتسامح قدره $2\,mm$ للبراغي ذات الأقطار حتى $24\,mm$ وبتسامح قدره $3\,mm$ للبراغي ذات الأقطار الأكبر. ويبين الجدول التالي التسامحات النظامية والتسامحات العظمى المسموح بها :

القطر الأعظمي للثقب $(D)\ mm$	القطر النظامي للثقب $(D)\ mm$	قطر ساق البرغي $(d)\ mm$
$d+5$	$d+2$	$d\le 22$
$d+6$	$d+2$	$d=24$
$d+8$	$d+3$	$d>24$

* يجب أن لا تقل المسافة بين مراكز البراغي عن $2.5\,d$ كما يجب أن لا تزيد هذه المسافة باتجاه الإجهادات عن $14\,t$ حيث t هي سماكة أرق العناصر الموصولة. وعندما تكون العناصر عرضة للصدأ يجب أن لا تزيد المسافة بين مراكز البراغي في أي اتجاه عن $16\,t$ أو $200\,mm$ حيث t سماكة أرق العناصر الخارجية. انظر الشكل (10-1).

* يجب أن لا تقل المسافة بين مركز ثقب البرغي وطرف العنصر عمودياً على اتجاه الإجهادات وكذلك بين مركز الثقب ونهاية العنصر عن 1.25 D في حالة المقاطع المدرفلة أو المقصوصة آلياً أو عن 1.4 D في حالة القص اليدوي للعناصر حيث D قطر الثقب. انظر الشكل (10-1). ويجب الانتباه أنه لا يمكن الحصول على كامل مقاومة البرغي للدهس عندما تقل هذه المسافة عن 2D بل تنخفض مقاومة الدهس بشكل خطي حتى الصفر عندما تنخفض هذه المسافة من 2D إلى 1.4D.

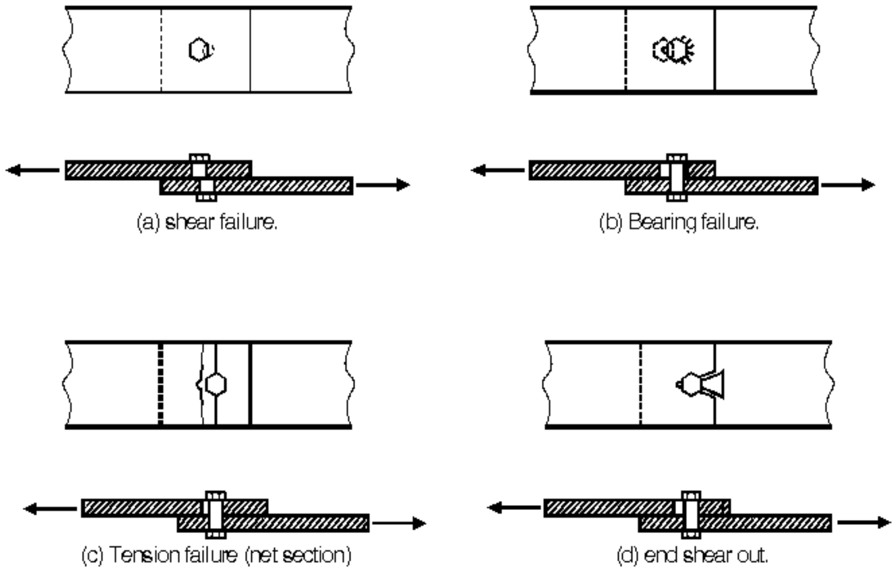
كما يجب أن لا تزيد المسافة بين مراكز صف من البراغي وطرف العنصر الموازي لهذا الصف عن $11t\varepsilon$ حيث: $\varepsilon = (275/p_y)^{1/2}$ ، p_y المقاومة التصميمية للعناصر الموصولة و t سماكة أرق العناصر الموصولة.



الشكل (10-1)

10-2-2 المقاومة التصميمية

يبين الشكل (10-2) حالات الانهيار الرئيسية الأربع لوصلة تراكب خاضعة لقوة شد، ومن الواضح أن هناك حالتي انهيار يمكن أن يتعرض لهما البرغي وحالتين يمكن أن تتعرض لهما العناصر الموصولة ولهذا يجب أن تدرس مقاومة البرغي تحت تأثير جملة من الحالات الإجهادية.



الشكل (10-2) حالات انهيار وصلة تراكب

1) طاقة القص Shear capacity

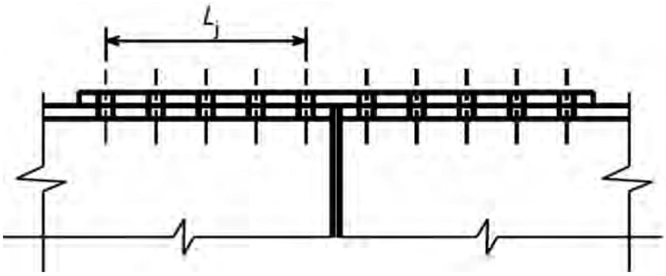
تحدد طاقة تحمّل البراغي للقص وفق العلاقة التالية:

$$P_s = p_s\ A_s \qquad (10\text{-}1)$$

حيث: p_s مقاومة القص وتحدد من الجدول (10-2). و A_s تساوي مساحة مقطع البرغي في منطقة جذع السن A_t (والتي تستخدم في حساب مقاومته على الشد) عندما يمر مستوي القص في الجزء المسنن أو تساوي مساحة المقطع العرضي لساق البرغي A إذا مرّ مستوي القص في ساق البرغي. ويبين الجدول (10-1) أقطار ومساحات مقاطع البراغي.

عندما يزيد طول الوصلة L_j (المسافة بين أول صف و آخر صف براغي باتجاه القوة المنقولة في حال وجود أكثر من صفين كما في الشكل (10-3a)) على 500mm، تحسب طاقة تحمل البرغي على القص وفق العلاقة التالية:

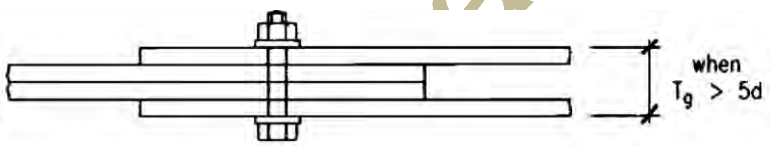
$$P_s = p_s\ A_s\left(\frac{5500 - L_i}{5000}\right) \qquad (10\text{-}2)$$



الشكل (10-3a)

وعندما يزيد مجموع سماكات العناصر الموصولة T_g عن خمس مرات قطر البرغي المستخدم في الوصل (الشكل (10-3b))، تحسب طاقة تحمل البرغي على القص وفق العلاقة التالية:

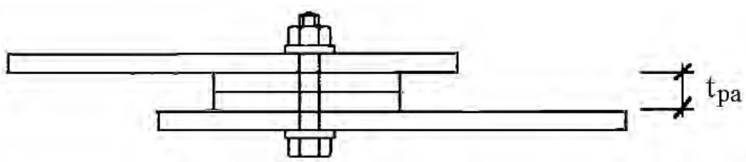
$$P_s = p_s\, A_s \left(\frac{8\,d}{3\,d + T_g} \right) \qquad (10\text{-}3)$$



الشكل (10-3b)

في حال استخدام صفائح تحشية فولاذية عند مستوي القص يجب ألاّ تزيد سماكتها t_{pa} على 4d/3 حيث d هو القطر الإسمي للبرغي (الشكل (10-3c)). ويفضل ألاّ يزيد عدد الطبقات الموصولة على أربعة. وعندما تكون t_{pa} أكبر من d/3 فتُعطى طاقة تحمل القص بالعلاقة التالية:

$$P_s = p_s\, A_s \left(\frac{9\,d}{8\,d + 3t_{pa}} \right) \qquad (10\text{-}4)$$



الشكل (10-3c)

الجدول (10-1) أقطار ومساحات مقاطع البراغي

القطر الاسمي (mm)	12	16	20	22	24	27	30	33	36
المساحة الاسمية $A\ (mm^2)$	113	201	314	380	453	573	706	856	1020
المساحة الصافية $A_t\ (mm^2)$	84.3	157	245	303	353	459	561	684	817

الجدول (10-2) مقاومة البراغي Strength of bolts

	Bolt grade ماركة البرغي		
	Gr 10.9	Gr 8.8	Gr 4.6
	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2
مقاومة القص Shear strength p_s	400	375	160
مقاومة الدهس Bearing strength p_{bb}	1300	1000	460
مقاومة الشد Tension strength p_t	700	560	240

2) طاقة الدهس Bearing Capacity

تحدد طاقة تحمل البرغي للدهس بالأصغر من:

– طاقة تحمل البرغي نفسه على الدهس وتحدد بالعلاقة التالية:

$$P_{bb} = d\, t_p\, p_{bb} \qquad (10\text{-}5a)$$

حيث: d القطر الاسمي للبرغي, t_p سماكة العنصر الموصول.

p_{bb} مقاومة الدهس وتحدد من الجدول (10-2).

– طاقة تحمل العنصر الموصول على الدهس P_{bs} وتحدد بالعلاقة التالية:

$$P_{bs} = k_{bs} d\, t_p\, p_{bs} \le 0.5 k_{bs} e\, t_p\, p_{bs} \qquad (10\text{-}5b)$$

حيث: p_{bs} مقاومة العنصر الموصول للدهس وتحدد من الجدول(10-3).

e المسافة بين مركز الثقب المعد للبرغي ونهاية العنصر.

k_{bs} يساوي الواحدعندما تكون ثقوب البراغي نظامية وإلاّ فيساوي 0.7

الجدول (10-3) مقاومة الأجزاء الموصولة على الدهس p_{bs} Bearing strength of connected parts for ordinary bolts		
Steel grades to BS 4360 ماركة الفولاذ		
S 275	S 355	S 460
N/mm^2 460	N/mm^2 550	N/mm^2 670

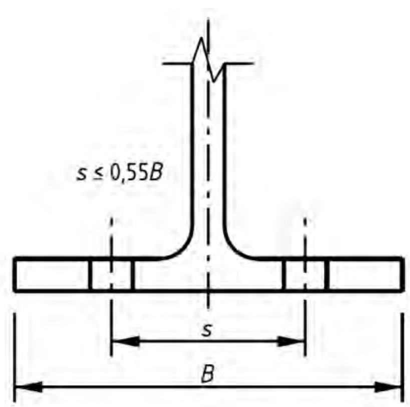
3) طاقة الشد Tension Capacity

تحدد طاقة تحمل البرغي على الشد P_t بالعلاقة (10-6) على أن لا تزيد المسافة بين خطي مركزي البراغي على 55% من عرض الجناح أو من عرض صفيحة النهاية كما في الشكل (10-4)

$$P_t = 0.8 p_t \, A_t \qquad (10\text{-}6)$$

حيث : A_t مساحة مقطع البرغي في منطقة جذع السن.

p_t مقاومة البرغي على الشد وتحدد من الجدول (10-2).



الشكل (10-4)

4) تحمّل البرغي لتراكب قص مع شد Combined shear and tension

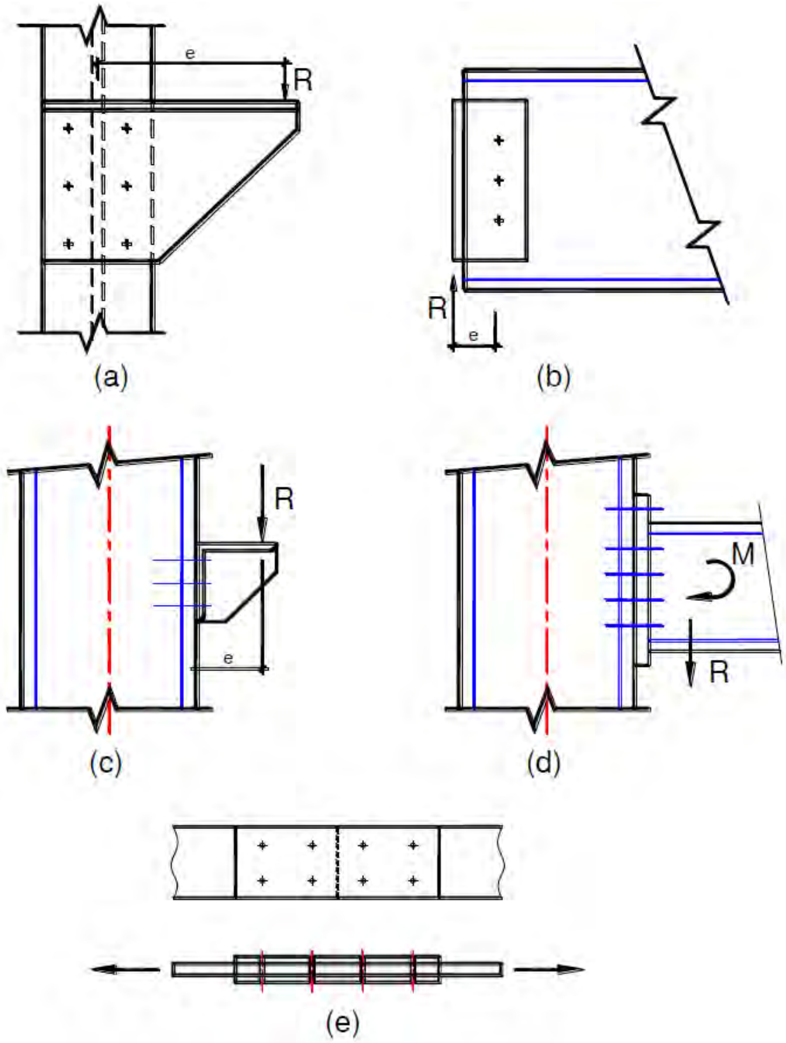
عندما يتعرض البرغي إلى شد وقص معاً، يجب أن يحقق علاقة الترابط التالية:

$$\frac{F_s}{P_s}+\frac{F_t}{P_t}\leq 1.4 \qquad (10\text{-}7)$$

حيث : F_s و F_t قوتي القص والشد المطبقتين ويجب أن لا تزيد أي منهما عن طاقة تحمل البرغي على القص والشد على الترتيب.

10-3 وصلات البراغي

لقد درسنا في الفقرة السابقة طاقة تحمل البرغي الواحد على الحالات الإجهادية المختلفة وسندرس في هذه الفقرة طاقة تحمل مجموعات البراغي وذلك بعد تحديد مساهمة كل منها ومن ثم تحديد طاقة تحمل الوصلة ككل. ويبين الشكل (10-5) أشكالاً نموذجية من الوصلات تحتوي على مجموعات من البراغي منها ما يخضع لقوى تمر في مركز ثقل المجموعة ومنها ما يتعرض إلى قوى غير مركزية تنتج قصاً إضافياً ناتجاً عن الفتل أو شداً ناتجاً عن الانعطاف.

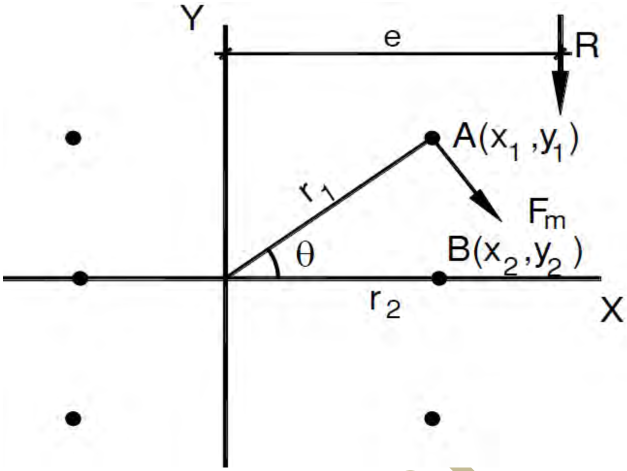


الشكل (10-5) وصلات براغي نموذجية

10-3-1 مجموعة براغي تتعرض لقص مباشر وفتل

يبين الشكل (10-5a) مجموعة تتألف من N برغي تخضع إلى قوة R بلا مركزية قدرها e . يوزع القص المباشر على مجموعة البراغي بالتساوي، أما القص الناجم عن عزم الفتل Re فيتم توزيعه بشكل متناسب مع بعد البراغي r_i عن مركز ثقل المجموعة. فالبراغي A،B، .... التي إحداثياتها (x_1 , y_1) , (x_2 , y_2),...... بالنسبة

لجملة إحداثيات تمر في مركز ثقل المجموعة تبعد r_1 , r_2,...... عن مركز ثقل المجموعة انظر الشكل (10-6).



الشكل (10-6)

لنفرض أن القوة التي يتعرض لها البرغي الأبعد A والناجمة عن الفتل هي F_m فتكون القوة التي يتعرض لها البرغي B هي $F_m\, r_2 / r_1$ وكذلك تكون القوة المطبقة على البرغي الذي يبعد r_i هي $F_m\, r_i / r_1$ وبمساواة العزم المقاوم لمجموعة البراغي بعزم الفتل الخارجي ينتج:

$$\mathrm{Re} = F_m\, r_1 + F_m \frac{r_2}{r_1} \,\mathrm{x}\, r_2 \ldots\ldots\ldots\ldots = \frac{F_m}{r_1} \,\mathrm{x} \sum_{i=1}^{N} r_i^2$$

أو:

$$F_m = \mathrm{Re} \frac{r_1}{\sum_{i=1}^{N} r_i^2} \qquad (10\text{-}8)$$

منحى القوة F_m عمودي على r_1 ويمكن تحليلها إلى مركبتين موازيتين لمحوري الإحداثيات كما يلي:

$$F_{mh} = F_m \sin\theta = F_m \frac{y_1}{r_1} \qquad (10\text{-}9)$$

$$F_{mv} = F_m \cos\theta = F_m \frac{x_1}{r_1} \qquad (10\text{-}10)$$

نبدل العلاقة (10-8) في هاتين العلاقتين وكذلك نبدل $r_i^2 = x_i^2 + y_i^2$ في الناتج فنحصل على:

$$F_{mh} = \mathrm{Re}\frac{y_1}{I} \qquad (10\text{-}11)$$

$$F_{mv} = \mathrm{Re}\frac{x_1}{I} \qquad (10\text{-}12)$$

$$I = \sum_{i=1}^{N} x_i^2 + \sum_{i=1}^{N} y_i^2 \qquad (10\text{-}13)$$

10-3-2 مجموعة البراغي تتعرض لقص وعزم انعطاف

يبين الشكل (10-7) مجموعة تتألف من N برغي خاضعة إلى قوة R بلا مركزية خارج مستوي المجموعة قدرها e أي أن المجموعة تخضع إلى عزم انعطاف قدره Re. يتعرض كل برغي من المجموعة إلى قوة قص مباشر قدرها R/N وإلى قوة شد ناتجة عن عزم الانعطاف. وتحدد قوة الشد في كل برغي بفرض أنها تتناسب طرداً مع بعد البرغي عن محور الدوران الذي يمر من مركز الجناح المضغوط للظفر كماهو مبين في الشكل (10-7).

بفرض أن القوة المطبقة على صف البراغي الأبعد F_t' والذي يبعد عن محور الدوران مسافة y_1 فتكون القوة المطبقة على صف البراغي i والذي يبعد عن محور الدوران بالمقدار y_i مساوية $F_t' y_i / y_1$. بمساواة مجموع عزوم هذه القوى بالعزم المطبق الخارجي ينتج:

$$\mathrm{Re} = F_t' y_1 + F_t' \frac{y_2}{y_1} \text{ x } y_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots = \frac{F_t'}{y_1} \text{ x } \sum_{i=1}^{n} y_i^2 \qquad (10\text{-}14)$$

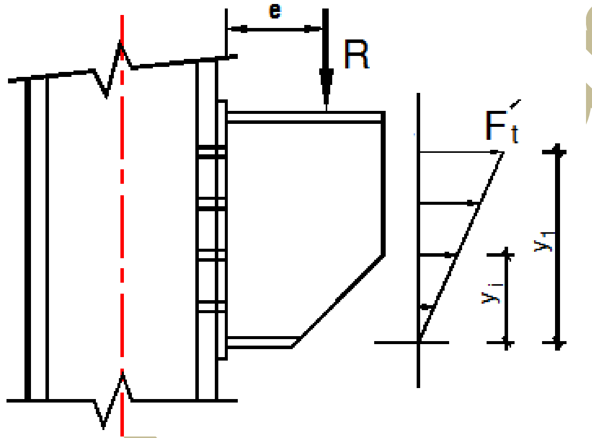
أو :

$$F_t' = \mathrm{Re}\frac{y_1}{I_x} \qquad (10\text{-}15)$$

حيث : $I_x = \sum_{i=1}^{n} y_i^2$ ، n عدد صفوف البراغي

وباعتبار أن عدد البراغي في الصف الواحد m فتكون قوة الشد التي يخضع لها البرغي الواحد في الصف الأبعد مساوية:

$$F_t = F_t' / m \qquad (10\text{-}16)$$



الشكل (10-7)

10-4 اللحام

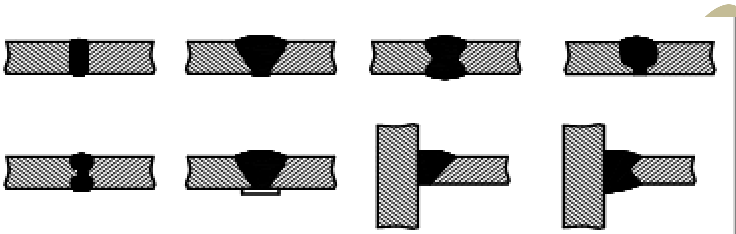
هناك نوعان من اللحام:

10-4-1 لحام الإملاء Butt weld

هو اللحام الذي يجمع جزئين في نفس سماكة المعدن الأصلي كما هو مبين في الشكل (10-8). عندما تكون الأجزاء الموصولة رقيقة، يكون من السهل أن يخترق اللحام كامل السماكة دون اللجوء إلى تحضير الأجزاء الملحومة. وعندما تكون الأجزاء سميكة لا بد من تحضير نهاياتها لتشكل عند جمعها حرف V أو U من وجهة واحدة أو من وجهين للأجزاء المزمع وصلها وذلك وفقاً لسماكة المعدن ولطريقة

اللحام، وتبين المواصفة البريطانية BS 5135 الأشكال المختلفة لتحضير العناصر الملحومة.

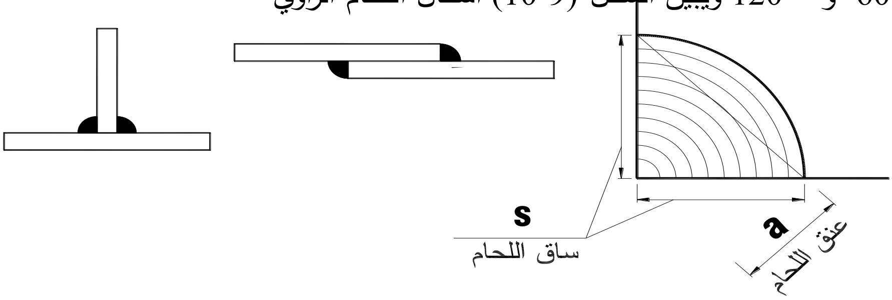
تُؤخذ مقاومة لحام الإملاء مساوية لمقاومة الأجزاء الملحومة شريطة أن يتم تنفيذ اللحام بقضبان لحام تنتج عينات من اللحام لها مقاومة شد وحد سيلان ليسا أقل مما للفولاذ الملحوم وفقاً للمواصفة BS 709



الشكل (10-8) أشكال مختلفة من لحام الإملاء

10-4-2 اللحام الزاوي Fillet weld

يتم تنفيذ اللحام الزاوي بين عنصرين يصنع وجهيهما القابلين للانصهار زاوية بين 60° و 120° ويبين الشكل (10-9) أشكال اللحام الزاوي



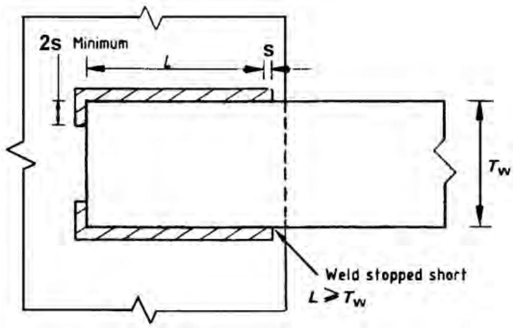
الشكل (10-9) لحام زاوي

يقاس اللحام الزاوي بطول ساقه (s) المبينة في الشكل (10-9) أما مقاومته فتحسب بناءً على طول عنقه (*a*) المبين في الشكل ذاته أيضاً. ويحدد طول العنق بالنسبة للساق وفقاً للمواصفة BS 5135 من الجدول (10-4) وذلك بدلالة الزاوية بين السطحين الملحومين

الجدول (10-4) طول عنق اللحام بدلالة الزاوية بين السطحين الملحومين	
نسبة عنق اللحام إلى قياس اللحام	الزاوية بين السطحين الملحومين بالدرجة
0.7	60 to 90
0.65	91 to 100
0.6	101 to 106
0.55	107 to 113
0.5	114 to 120

يحدد الطول الفعال للحام الزاوي بطوله الفعلي مطروحاً منه ضعف طول ساقه وذلك للأخذ بالحسبان جودة اللحام المتدنية في البداية والنهاية. ويجب أن لا يقل طول اللحام عن أربع مرات طول ساقه, كما يجب أن لا يقل طول اللحام الزاوي الطولي L المستخدم في وصل نهاية عنصر ما عن المسافة الفاصلة عرضياً بين خطي اللحام الطولي، انظر الشكل (10-10).

كما يجب تدوير اللحام حول الزوايا بطول 2s في نهاية أو طرف الصفيحة الملحومة كما في الشكل(10-10).



الشكل (10-10) لحام نهاية عنصر

يمكن تنفيذ اللحام الزاوي بشكل متقطع على أن يحسب طول كل قطعة لحام وفقاً للفقرة السابقة، كما يجب أن لا يزيد طول المسافة غير الملحومة عن *300* mm أو 16

t للعناصر المضغوطة و 24 t للعناصر المشدودة حيث t سماكة أرق العناصر الملحومة.

تحدد المقاومة التصميمية p_w للحام الزاوي المنفذ بقضبان لحام محققة للمواصفة البريطانية BS 639 وفق الجدول (10-5)

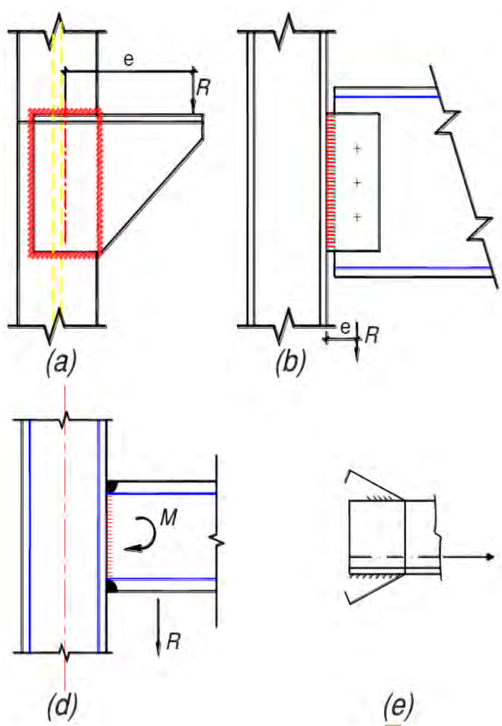
الجدول (10-5) المقاومة التصميمية للحام الزاوي Design strength of fillet welds p_w

نوع الفولاذ	تصنيف قضبان اللحام Electrode classification			من أجل أنواع أخرى من قضبان اللحام ومن الفولاذ $p_w = 0.5U_e \le 0.55U_s$ U_s, U_e مقاومة الشد الدنيا لقضبان اللحام و للمعدن قيد اللحام على الترتيب
	35 N/mm^2	42 N/mm^2	50 N/mm^2	
S 275	220	(220)[a]	(220)[a]	
S 355	(220)[b]	250	(250)[a]	
S 460	(220)[b]	(250)[b]	280	

a أكثر من ملائم Over-matching electrodes
b أقل من ملائم، لايستخدم في حالة لحام الإملاء الجزئي Under-matching electrodes

10-5 وصلات اللحام

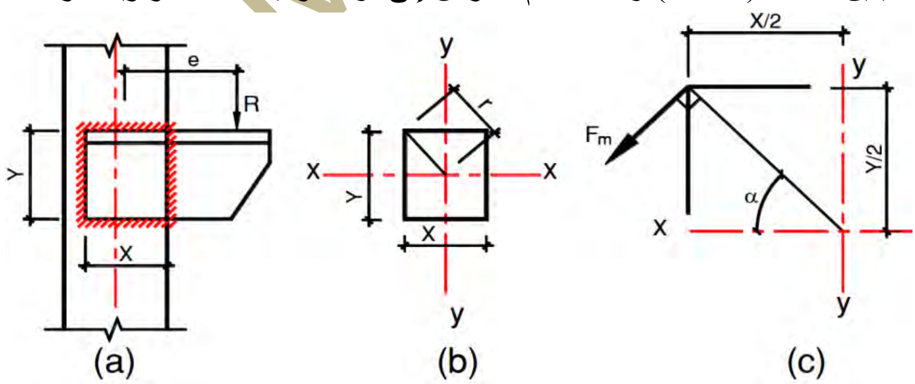
لقد تناولنا في الفقرة السابقة أنواع اللحام مع تركيز خاص على اللحام الزاوي لكثرة استعماله في وصلات المنشآت، وسندرس في هذه الفقرة طاقة تحمّل مجموعات اللحام من خلال استعمالها في الوصلات الملحومة. ويبين الشكل (10-11) مجموعة من الوصلات النموذجية المنفذة بواسطة اللحام الزاوي، منها ما يخضع إلى قص مباشر يمر من مركز ثقل مجموعة اللحام ومنها ما يخضع أيضاً إلى قص ناتج عن عزم فتل بسبب عدم مرور القوة المطبقة في مركز ثقل مجموعة اللحام ومنها أيضاً ما يخضع إلى شد ناتج عن الانعطاف بسبب وقوع القوة المطبقة خارج مستوي مجموعة اللحام.



الشكل (10-11) وصلات لحام نموذجية

10-5-1 مجموعة اللحام تتعرض إلى قص مباشر وفتل

يبين الشكل (10-12) وصلة لحام تتعرض إلى قوة خارجية R بلا مركزية قدرها e



الشكل (10-12)

يوزع القص الشاقولي على كامل طول اللحام فيحدد القص المباشر في واحدة الطول من اللحام وفق العلاقة التالية:

$$F_v = \frac{R}{2X + 2Y} \qquad (10\text{-}17)$$

أما قص الفتل الناتج عن لا مركزية القوة الخارجية فيوزع بشكل متناسب مع بعد أي عنصر لحام عن مركز مجموعة اللحام. وبمحاكمة منطقية مشابهة لما أوردناه في الفقرة (10-3-1) نحدد قص الفتل بالعلاقة التالية:

$$F_m = \frac{\text{Re}\, r}{I_p} \qquad (10\text{-}18)$$

حيث : F_m القص في واحدة الطول في اللحام الأبعد عن مركز ثقل المجموعة.

r بعد عنصر اللحام الأبعد ويحسب بالعلاقة $r = \frac{1}{2}\sqrt{X^2 + Y^2}$

I_p عزم العطالة القطبي لمجموعة اللحام ويحدد بالعلاقة التالية:

$$I_P = I_x + I_y \qquad (10\text{-}19)$$

$$I_x = 2\left[Y^3/12 + X\left(Y/2\right)^2\right] \qquad (10\text{-}20\ a)$$

$$I_y = 2\left[X^3/12 + Y\left(X/2\right)^2\right] \qquad (10\text{-}20\ b)$$

كما هو مبين في الشكل (10-11c) إن منحى القوة F_m عمودي على r ويمكن تحليلها إلى مركبتين موازيتين لمحوري الإحداثيات:

$$F_{mh} = F_m \sin\alpha = F_m \frac{Y}{2r}$$

$$F_{mv} = F_m \cos\alpha = F_m \frac{X}{2r}$$

نعوض العلاقة (10-18) في هاتين العلاقتين فينتج:

$$F_{mh} = \frac{\text{Re}\, Y}{2\, I_p} \qquad (10\text{-}21)$$

$$F_{mv} = \frac{\text{Re}\, X}{2\, I_p} \qquad (10\text{-}22)$$

ومنه تحدد حاصلة قوة القص F_r في واحدة الطول التي يتعرض لها عنصر اللحام الأبعد وفق العلاقة التالية:

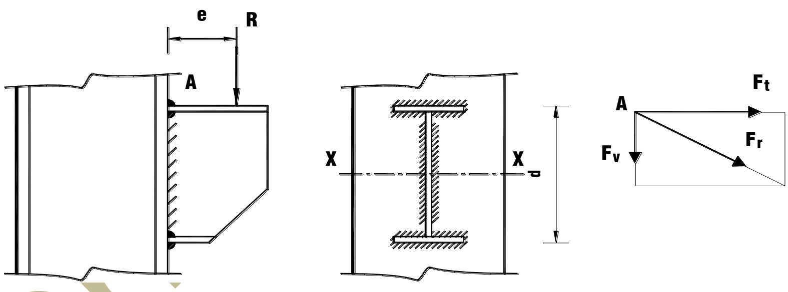
$$F_r = \sqrt{(F_v + F_{mv})^2 + (F_{mh})^2} \qquad (10\text{-}23)$$

كي نحصل على الإجهاد المطبق على اللحام نقسم F_r على عنق اللحام a . ويجب أن نقارن هذا الإجهاد بمقاومة اللحام التصميمية p_w المستخرجة من الجدول (10-5)

10-5-2 مجموعة اللحام تتعرض إلى قص مباشر وعزم انعطاف

يبين الشكل (10-13) وصلة لحام معرضة إلى قوة خارجية R واقعة خارج مستوي اللحام بلا مركزية قدرها e . يوزع القص الشاقولي على كامل طول اللحام الفعال L فنحصل على القص الشاقولي F_v في واحدة الطول من اللحام بتطبيق العلاقة التالية:

$$F_v = R / L \qquad (10\text{-}24)$$



الشكل (10-13)

أما قوة الشد F_t التي تتعرض لها واحدة الطول من خط اللحام الأبعد عن مركز ثقل المجموعة فتحدد باستخدام العلاقة الخاصة بانعطاف الجوائز أي:

$$F_t = \frac{R\,e\,d}{2\,I_x} \qquad (10\text{-}25)$$

حيث : I_x عزم عطالة مجموعة اللحام حول المحور x المار من مركز ثقلها آخذين بالحسبان عنق اللحام مساوياً واحدة الطول.

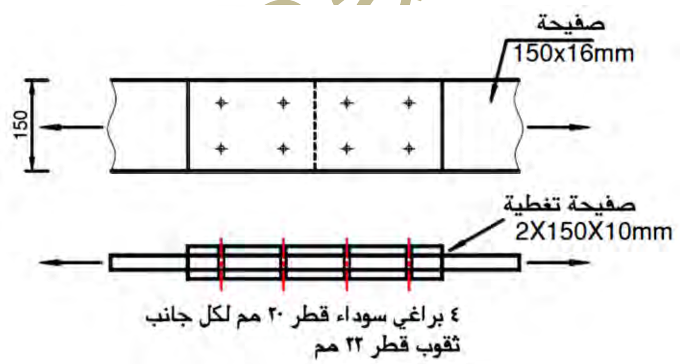
وتحدد محصلة القوة التي تتعرض لها واحدة الطول من خط اللحام الأبعد بالعلاقة التالية:

$$F_r = \sqrt{F_v^2 + F_t^2} \qquad (10\text{-}26)$$

كي نحصل على الإجهاد المطبق على اللحام نقسم F_r على عنق اللحام a ، ويجب مقارنة هذا الإجهاد بالمقاومة التصميمية للحام p_w المستخرجة من الجدول (10-5).

مثال : (10-1)

احسب مقاومة الوصلة المبينة في الشكل أدناه وذلك باعتبار مقاومة مجموعة البراغي وصفيحة الوصل والعنصر المشدود، علماً أن ماركة فولاذ صفيحتي الوصل والعنصر المشدود S275 وأن البراغي المستخدمة سوداء ماركتها 4.6 وقطر البرغي *20 mm*



<u>الحل:</u>

* حساب مقاومة مجموعة البراغي:

– تحدد طاقة تحمّل البرغي للقص باستخدام العلاقة (10-1) ولكن مع الانتباه إلى وجود سطحين للقص أي:

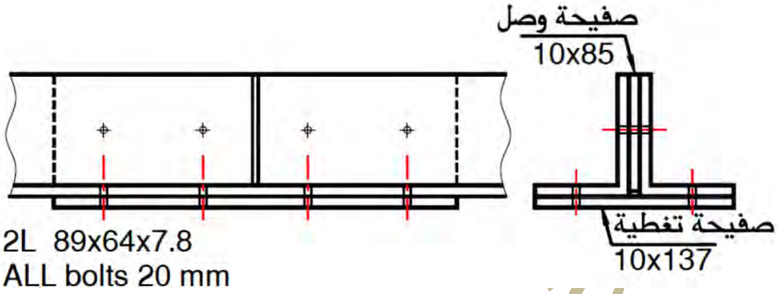
$$\left.\begin{aligned} P_s &= 2 p_s A_s \\ A_s &= 245\ mm^2 \\ p_s &= 160\ N/mm^2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow P_s = 2 \times 160 \times 245 \times 10^{-3} = 78.4\ kN$$

الجدولين (10-1) (10-2)

ومنه تحدد طاقة تحمّل مجموعة البراغي على القص كما يلي: $F_s = 4 \text{ x } P_s = 313.6\, kN$ – تحدد طاقة تحمّل البراغي على الدهس باستخدام العلاقة (10-5a) على العنصر المشدود لأن سماكته أقل من مجموع سسماكتي صفيحتي الوصل.	
$\left.\begin{array}{l} P_{bb} = d\, t_p\, p_{bb} \\ p_{bb} = 460\, N/mm^2 \end{array}\right\} \Rightarrow P_{bb} = 20 \text{ x } 16 \text{ x } 460 \text{ x } 10^{-3} = 147.2\, kN$	الجدول (10-2)
– ومنه تحدد طاقة تحمّل مجموعة البراغي على الدهس $F_{bb} = 4 \text{ x } P_{bb} = 4 \text{ x } 147.2 = 588.8\, kN$ – تحدد طاقة تحمّل العنصر المشدود على الدهس من أجل برغي واحد بتطبيق العلاقة (10-5b) أي:	
$\left.\begin{array}{l} P_{bs} = d\, t\, p_{bs} \\ p_{bs} = 460\, N/mm^2 \end{array}\right\} \Rightarrow P_{bs} = 20 \text{ x } 16 \text{ x } 460 = 147.2\, kN$	الجدول (10-3)
– ومنه تحدد طاقة تحمّل العنصر على الدهس من أجل مجموعة البراغي $F_{bs} = 4 \text{ x } 147.2 = 588.8\, kN$ – إذاً مقاومة مجموعة البراغي $F_1 = F_s = 313.6\, kN$ * حساب طاقة تحمّل العنصر المشدود	
– تحدد المقاومة التصميمية للعنصر بدلالة سماكته $T = 16\, mm$ فنجد $p_y = 275\, N/mm^2$	الجدول (2-1)
– ومنه تحدد مقاومة العنصر المشدود كما يلي: $A_e = 1.2\, A_{net} \leq A_g$	
$A_e = 1.2 \times \left[(150 - 2 \text{ x } 22) \text{ x } 16 \right] = 2035.2 mm^2 \leq A_g = 2400 mm^2$ $F_2 = p_y\, A_e = 275 \times 2035.2 \text{ x } 10^{-3} = 559.7\, kN$	العلاقة (3-1)
– إذاً مقاومة الوصلة هي الأصغر من F_1 و F_2 أي $313.6\, kN$ وهي مقاومة مجموعة البراغي على القص.	

مثال (10-2)

احسب طاقة تحمّل الوصلة المبينة في الشكل أدنا، علماً أن ماركة الفولاذ المستخدم S 275 وأن البراغي سوداء قطرها *20 mm* وماركتها *4.6*



الحل:

* حساب طاقة تحمّل مجموعة البراغي

– تحدد مقاومة البرغي على القص الإفرادي باستخدام العلاقة (10-1)

(الجدولين (10-1) (10-2))

$$\left.\begin{aligned} P_s &= p_s\ A_s \\ A_s &= 245\ mm^2 \\ p_s &= 160\ N/mm^2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow P_s = 39.2\ kN$$

– يجب الانتباه إلى أن كل طرف من الوصلة يحتوي على برغيين يتعرضان إلى قص مزدوج وإلى أربعة براغي تتعرض إلى قص منفرد، وعليه تحدد مقاومة مجموعة البراغي على القص كما يلي:

$$F_s = 2 \text{ x } 2 \text{ x } 39.2 + 4 \text{ x } 39.2 = 313.6\ kN$$

– تحدد مقاومة البرغي الرابط لصفيحة الوصل مع الزاويتين على الدهس باستخدام العلاقة (10-5a) كما يلي:

(الجدول (10-2))

$$\left.\begin{aligned} P_{bb} &= d\ t_p\ p_{bb} \\ p_{bb} &= 460\ N/mm^2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow P_{bb} = 20 \text{ x } 10 \text{ x } 460 \text{ x } 10^{-3} = 92\ kN$$

أما مقاومة البرغي الرابط لصفيحة التغطية مع الزاويتين على الدهس فتحدد كما يلي:

$$P_{bb} = 20 \text{ x } 7.8 \text{ x } 460 \text{ x } 10^{-3} = 71.76\ kN$$

	– يوجد أربعة براغي تربط صفيحة التغطية مع الزاويتين وبرغيان يربطان صفيحة الوصل مع الزاويتين، وعليه تحسب مقاومة مجموعة البراغي على الدهس كما يلي:
	$F_{bb} = 2 \text{ x } 92 + 4 \text{ x } 71.76 = 471\, kN$
	– تحدد طاقة تحمّل مقاومة صفيحة الوصل على الدهس عند كل برغي كما يلي:
العلاقة (10-5a) الجدول (10-3)	$\left.\begin{array}{l} P_{bs} = k_{bs} d\, t_p\, p_{bb} \\ p_{bs} = 460\, N/mm^2 \end{array}\right\} \Rightarrow P_{bs} = 1\text{x}20 \text{ x } 10 \text{ x } 460 \text{ x } 10^{-3} = 92\, kN$
	– تحسب طاقة تحمّل ساق الزاوية على الدهس عند كل برغي كما يلي:
	$P_{bs} = 1\text{x}20 \text{ x } 7.8 \text{ x } 460 \text{ x } 10^{-3} = 71.76\, kN$
	وكما بينا سابقاً يوجد أربعة براغي تربط صفيحة التغطية مع الزاويتين وبرغيان يربطان صفيحة الوصل مع الزاويتين، وعليه تحسب مقاومة العناصر الموصولة على الدهس كما يلي:
	$P_{bs} = 2 \text{ x } 92 + 4 \text{ x } 71.76 = 471\, kN$
	– إذاً طاقة تحمّل مجموعة البراغي هي:
	$F_1 = F_s = 313.6\, kN$
	* حساب مقاومة الزاويتين:
	– بالعودة إلى الجدول (1-2) نحدد المقاومة التصميمية بدلالة سماكة الزاوية $t = 7.8\, mm$ فنجد: $p_y = 275\, N/mm^2$
	– وكذلك بالعودة إلى جداول خصائص المقاطع الفولاذية نجد أن المساحة الكلية للزاوية الواحدة تساوي $1137\, mm^2$. وللحصول على المساحة الصافية للزاويتين يجب أن نطرح مساحة أربعة ثقوب قطر كل منها $22\, mm$.
الفقرة (3-1)	$A_{net} = 2 \text{ x } 1137 - 4 \text{ x } 22 \text{ x } 7.8 = 1587.6\, mm^2$
	وتحسب المساحة المكافئة بضرب المساحة الصافية بالمعامل $k_e = 1.2$

أي:

$$A_e = k_e\ A_{net} = 1.2\ \ \text{x}\ 1587.6 = 1905.12\ mm^2$$

ومنه تحدد مقاومة الزاويتين على الشد كما يلي:

$$P_{t_1} = A_e\ p_y = 1905.12\ \ \text{x}\ 275\ \text{x}\ 10^{-3} = 523.9\ kN$$ العلاقة (3-1)

* حساب طاقة تحمّل صفيحتي الوصل والتغطية

– كما سبق فإن $p_y = 275\ \text{N}/mm^2$ لأن سماكة كل من الصفيحتين أقل من *16 mm* وكذلك تحدد المساحة الصافية للصفيحتين بطرح مساحة ثلاثة ثقوب. أي:

$$A_{net} = (85 + 137 - 3\ \text{x}\ 22)\ \text{x}\ 10 = 1560\ mm^2$$

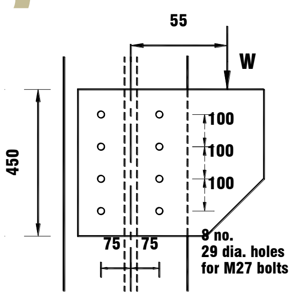
$$A_e = 1.2\ A_{net} = 1872\ mm^2$$

$$P_{t_2} = A_e\ p_y = 1872\ \text{x}\ 275\ \text{x}\ 10^{-3} = 514.8\ kN$$

– إذاً طاقة تحمّل الوصلة ستكون مساوية للأصغر من F_1 و P_{t_1} و P_{t_2} أي $313.6\ kN$ وهي طاقة تحمّل مجموعة البراغي على القص.

مثال (3-10)

حقق ظفر الرافعة المبين في الشكل أدناه على رد شاقولي $W = 462\ \text{kN}$ مطبّق بلا مركزية $e = 55\ cm$ علماً أن الظفر يتألف من صفيحتين سماكة كل منهما $20\ mm$ وماركة فولاذهما $S275$ وأن البراغي المستخدمة سوداء قطر كل منها *27 mm* وماركتها *8.8 (8.8 M 27)*



الحل:

* تحقيق الظفر:

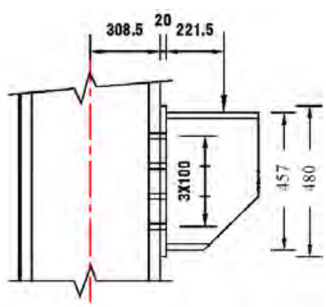
– العزم المطبق الخارجي

$$M_x = 462\ \text{x}\ 0.55 = 254\ kNm$$

– مساحة القص الفعالة

الفقرة (5-2)	$A_v = 0.9A = 0.9(450 - 4 \text{ x } 29) \text{ x } 20 \text{ x } 2 = 12020\, mm^2$
الجدول (2-1)	- المقاومة التصميمية $p_y = 265\, N/mm^2$
	- طاقة تحمل القص
العلاقة (5-1)	$P_v = 0.6\, p_y\, A_v = 0.6 \text{ x } 265 \text{ x } 12020 \text{ x } 10^{-3} = 1910\, kN$
	$F_v / P_v = W / P_v = 462/1910 = 0.24 < 0.6$
العلاقة (5-3)	- تحدد طاقة تحمل العزم وفق العلاقة $M_c = p_y\, Z$
	عزم عطالة مقطع الصفيحتين عند الصف الشاقولي الأول من البراغي حول محور مار في منتصف ارتفاع المقطع
	$I = 2\left[20 \text{ x } 450^3/12 - 2x20x29x50^2 - 2x20x29x150^2\right]$
	$I = 24580\, cm^4$
	$Z = I/22.5 = 1090\, cm^3$
	$M_c = 265 \text{ x } 1090 \text{ x } 10^{-3} = 289\, kN > M_x = 254\, kN \quad o.k.$
	* تحقيق مجموعة البراغي
	- يوزع القص المباشر على مجموعة البراغي بالتساوي فتكون حصة البرغي $F_v = 462/8 \text{ x } 2 = 28.9\, kN$
	- تحدد مركبتي القص الناتج عن الفتل في البرغي الأبعد وفق العلاقتين (10-11,12) ويحدد عزم عطالة مجموعة البراغي وفق العلاقة (10-13)
	$I = 2\left[\sum_{i=1}^{8} x_i^2 + \sum_{i=1}^{8} y_i^2\right]$
	$I = 2\left[8 \times 75^2 + 4 \times 50^2 + 4 \times 150^2\right] = 290000\, mm^2$
العلاقة (10-11)	$F_{mh} = \dfrac{We \times y_1}{I} = \dfrac{462 \times 550 \times 150}{290000} = 131.43\, kN$
العلاقة (10-12)	$F_{mv} = \dfrac{We \times x_1}{I} = \dfrac{462 \times 550 \times 75}{290000} = 65.7\, kN$
	- تحدد محصلة القوى القاصة المطبقة على البرغي الأبعد كما يلي:

$F_r = \sqrt{(F_v + F_{mv})^2 + F_{mh}^2} = \sqrt{(28.9 + 65.7)^2 + (131.43)^2}$ $F_r = 162\ kN$	
– تحدد طاقة تحمّل مقاومة البرغي على القص باستخدام العلاقة (10-1) $\left.\begin{aligned} P_s &= p_s\ A_s \\ A_s &= 459\ mm^2 \\ p_s &= 375\ N/mm^2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow P_s = 375 \text{ x } 459 \text{ x } 10^{-3} = 172\ kN > F_r\ \ o.k.$	الجدولين (10-1) (10-2)
– تحدد طاقة تحمّل البرغي على الدهس وفق العلاقة (10-5a) $\left.\begin{aligned} P_{bb} &= d\ t_p\ \ p_{bb} \\ p_{bb} &= 1000\ N/mm^2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow P_{bb} = 27 \text{ x } 20 \text{ x } 1000 \text{ x } 10^{-3}$ $= 540\ kN > F_r \qquad o.k.$	الجدول (10-2)
– تحدد طاقة تحمّل صفيحة الظفر على الدهس بالعلاقة (10-5b) $\left.\begin{aligned} P_{bs} &= k_{bs} d\ t_p\ \ p_{bs} \\ p_{bs} &= 460\ N/mm^2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow P_{bs} = 1 \times 27 \times 20 \times 460 \times 10^{-3}$ $= 243\ kN > F_r \qquad o.k.$ – إذاً مقاومة مجموعة البراغي محققة أيضاً.	الجدول (10-3)

مثال (10-4) حقق ظفر الرافعة المبين في الشكل أدناه على رد فعل شاقولي $W = 462\ kN$ مطبّق على بعد قدره $e = 221.5\ mm$ من وجه العمود، علماً أن الظفر مقطوع من جائز $457 \text{ x } 191 \text{ x } 89\ UB$ فولاذه S 275 والبراغي المستخدمة سوداء بقطر $22\ mm$ وماركتها 8.8 $(8.8M22)$ وأن قياس اللحام الزاوي المستخدم بين الظفر وصفيحة النهاية هو $6\ mm$  <u>الحل:</u>	

* تحقيق الظفر

– من جداول خواص المقاطع نجد:

$D = 463.4\,mm \quad B = 191.9\,mm, \; t = 10.5\,mm \; T = 17.7\,mm,$

$d = 407.6\,mm \;,\; b/T = 5.42 \quad d/t = 38.8, \; S_x = 2014\,cm^3$

– قوة القص والعزم الخارجين

$F_v = W = 462\,kN$

$M_x = 462 \text{ x } 221.5 \text{ x } 10^{-3} = 102\,kN$

الجدول (2-1) – بما أن : $T = 17.7\,mm$ فإن $p_y = 265\,N/mm^2$

و $\varepsilon = (275/p_y) = 1.02$

الجدول (2-2) – المقطع مدمج لأن

$b/T = 5.42 < 10\,\varepsilon = 10.2$

$d/t = 38.8 < 100\,\varepsilon = 102$

الفقرة (5-2) – مساحة القص الفعال

$A_v = tD = 10.5 \text{ x } 463.4 = 4865.7\,mm^2$

العلاقة (5-1) – طاقة تحمل القص

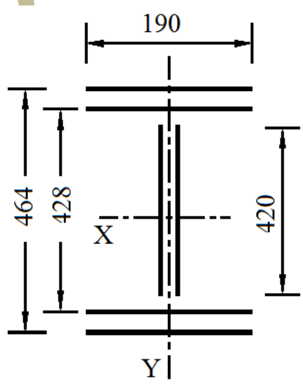
$P_v = 0.6\,p_y\,A_v = 0.6 \text{ x } 265 \text{ x } 4865.7 \text{ x } 10^{-3}$

$= 773.6\,kN > F_v = 462 \text{ kN} \qquad o.k.$

– طاقة تحمل العزم

العلاقة (5-2) بما أن $F_v < 0.6\,P_v$ فتحدد طاقة تحمل العزم كما يلي:

$M_c = p_y\,S_x = 265 \text{ x } 2014 \text{ x } 10^{-3} = 533.7\,kN > M_x$



إذاً الظفر محقق.

* تحقيق لحام الظفر إلى صفيحة النهاية

يبين الشكل أدناه طول اللحام الزاوي المستخدم ومواقعه

– طول اللحام المستخدم

$$L = 4 \text{ x } 190 + 2 \text{ x } 420 = 1600\, mm$$

– تحدد قوة القص الشاقولي F_v على واحدة الطول من اللحام كما يلي:

$$F_v = 462 \text{ x } 10^3 / 1600 = 289\ N/m$$

– عزم عطالة مجموعة اللحام حول محور مار في مركز ثقلها

$$I_x = 2 \text{ x } 420^3/12 + 2 \text{ x } 190 \text{ x } 214^2 + 2 \text{ x } 190 \text{ x } 232^2$$

$$= 50.2 \text{ x } 10^6\ mm^3$$

– قوة الشد التي تتعرض لها واحدة الطول من خط اللحام الأبعد

العلاقة (10-25)

$$F_t = \frac{M_x\, D}{2I_x} = \frac{102 \text{ x } 463.4 \text{ x } 10^6}{2 \text{ x } 50.2 \text{ x } 10^6} = 471\ N/mm$$

– تحدد محصلة القوة التي يتعرض لها اللحام كما يلي:

العلاقة (10-26)

$$F_r = \sqrt{F_v^2 + F_t^2} = \sqrt{289^2 + 471^2} = 552.6\ N/mm$$

– يحدد عنق اللحام $a = 0.7s = 0.7 \text{ x } 6 = 4.2\ mm$

– يحدد الإجهاد الذي يخضع له اللحام بقسمة F_r على عنق اللحام أي:

$$f_r = F_r / a = 552.6/4.2 = 131.6\ N/mm^2$$

– إذاً اللحام كافٍ لأن:

الجدول (10-5)

$$f_r < p_w = 220\ N/mm^2$$

* تحقيق مجموعة البراغي الرابطة لصفيحة النهاية مع جناح العمود

– القوة المطبّقة والعزم الخارجين $F_v = 462\ kN$

$$M = 462 \text{ x } (0.2215 + 0.02) = 112\ kNm$$

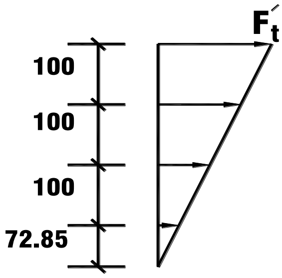
– باستخدام ثمانية براغي نجد القص الشاقولي الذي يتعرض له البرغي الواحد $F_s = 462/8 = 57.8\ kN$

– طاقة تحمّل البرغي للقص

الجدولين (10-1) (10-2)

$$\left.\begin{aligned} P_s &= p_s\, A_s \\ A_s &= 303\ mm^2 \\ p_s &= 375\ N/mm^2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow P_s = 375 \text{ x } 303 \text{ x } 10^{-3} = 113.6\ kN > F_s$$

– تحدد قوة الشد في صفوف البراغي بحسب بعدها عن محور الدوران الذي يمر في مركز جناح الظفر المضغوط كما هو مبين في الشكل أدناه. وعليه تحدد قوة الشد في الصف الأبعد بالعلاقة (10-15)



$$F_t' = \frac{M\,y_1}{I_x}$$

$$y_1 = 72.85 + 3 \text{ x } 100 = 372.82mm$$

$$I_x = \sum_{i=1}^{4} y_i^2 = (72.85)^2 + (172.85)^2 + (272.85)^2 + (372.85)^2$$

$$I_x = 248648.5\,mm^2$$

$$F_t' = \frac{112 \text{ x } 372.85 \text{ x } 10^3}{248648.5} = 167.9\,kN$$

– فتكون حصة البرغي الواحد في الصف الأبعد

$$F_t = F_t'/2 = 84\,kN$$

– طاقة شد البرغي

العلاقة (10-6) الجدولين (10-1,2)

$$\left.\begin{array}{l} P_t = 0.8 p_t\, A_t \\ A_t = 303 \\ p_t = 460 \end{array}\right\} \Rightarrow P_t = 0.8 \times 460 \times 303 \times 10^{-3} = 111.5\,kN > F_t$$

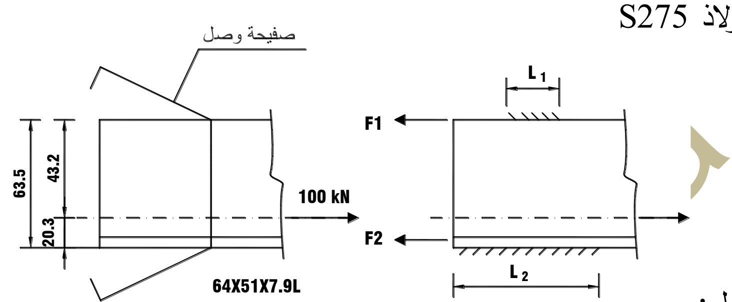
بتطبيق علاقة الترابط (10-7) نجد:

$$\frac{F_s}{P_s} + \frac{F_t}{P_t} = \frac{57.8}{113.6} + \frac{84}{111.5} = 1.26 < 1.4 \qquad o.k.$$

إذاً مجموعة البراغي محققة.

مثال (10-5)

صمم لحام الزاوية المبينة أدناه إلى صفيحة الوصل علماً أن القوة الخارجية المصعّدة تساوي $F = 100\,kN$ وأن قياس اللحام $6\,mm$ وأن ماركة الفولاذ S275



<u>الحل:</u>

- عنق اللحام $a = 0.7 \text{ x } 6 = 4.2\,mm$ (الجدول (10-4))
- طاقة تحمّل $1\,mm$ من طول اللحام على القص

$f_s = a\,p_w = 4.2 \text{ x } 220 = 924\,N/\,mm$ (الجدول (10-5))

- القوة التي يجب أن يتحملها اللحام على طول رأس الزاوية

$F_1 = 100 \text{ x } 20.3 / 63.5 = 32\,kN$

- طول اللحام اللازم على طول رأس الزاوية

$L_1 = F_1 / f_s + 2s = 32 \text{ x } 10^3 / 924 + 2 \text{ x } 6 = 47\,mm$

- لتحقيق الاشتراطات الواردة في الفقرة (10-4-2) يجب أن لا تقل L_1 عن عرض الزاوية أي: $L_1 = 63.5 + 2s = 63.5 + 2 \times 6 = 75.5\,mm$
- القوة التي يجب أن يتحملها اللحام على طول ساق الزاوية

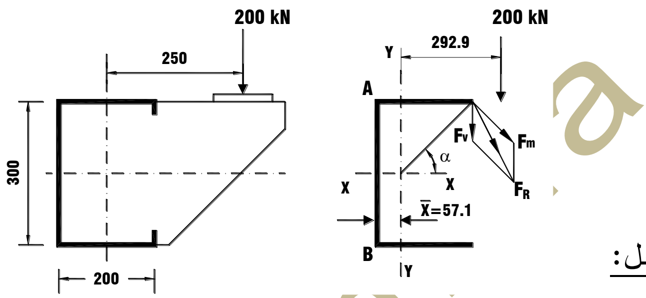
$F_2 = F - F_1 = 100 - 32 = 68\,kN$

- طول اللحام اللازم على طول ساق الزاوية

$L_2 = F_2 / f_s + 2s = 68 \text{ x } 10^3 / 924 + 2 \text{ x } 6 = 85.6\,mm$

مثال (10-6)

يبين الشكل أدناه صفيحة ظفر رافعة ملحومة من ثلاثة أطراف. أوجد قوة القص العظمى التي يتعرض لها اللحام واختر قياساً مناسباً له معتبراً أن قياس اللحام ثابت وأن ماركة فولاذ الصفيحة S275



الحل:

– طول اللحام $L = 2 \times 200 + 300 = 700\ mm$

– بعد مركز ثقل مجموعة اللحام عن الطرف AB

$x = 2 \times 200 \times 100 / 700 = 57.1$

– لا مركزية القوة المطبّقة

$e = 250 + (200 - 57.1) = 292.9\ mm$

– عزم عطالة اللحام

$I_x = 2 \times 200 \times 150^2 + 300^3 / 12 = 11.25 \times 10^6\ mm^3$

$I_y = 300 \times 57.1^2 + 2 \times 200^3 / 12 + 2 \times 200 \times 42.9^2$

$= 3.02 \times 10^6\ mm^3$

$I_p = I_x + I_y = 14.27 \times 10^6\ mm^3$

– القص المباشر الذي تتعرض له واحدة الطول من اللحام

العلاقة (10-17) $F_v = R / L = 200 \times 10^3 / 700 = 285.7\ N$

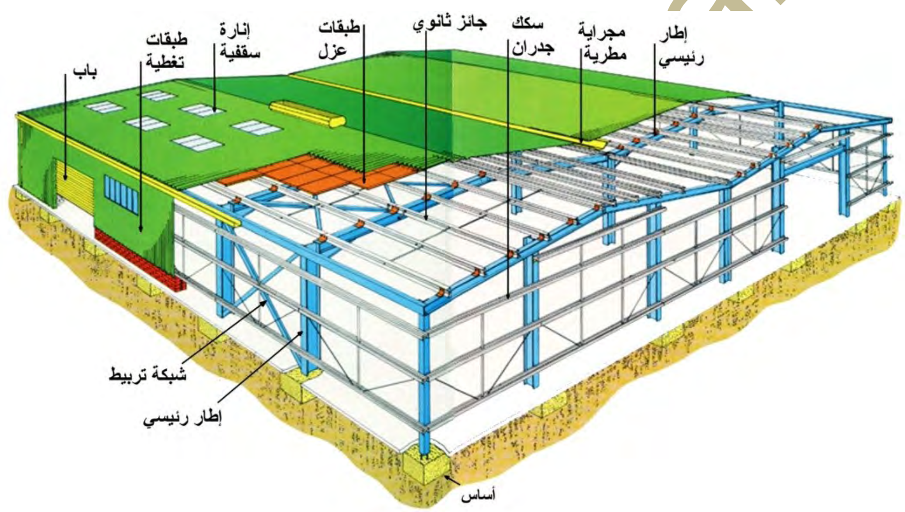
– قوة القص الناتجة عن الفتل التي تتعرض لها واحدة الطول من اللحام الأبعد

العلاقة (10-18)	$\left.\begin{array}{l} F_m = \mathrm{Re}\, r / I_p \\ r = \sqrt{(150)^2 + (200-57.1)^2} = 207.17\ mm \end{array}\right\} \Rightarrow$ $F_m = 200 \text{ x } 10^3 \text{ x } 292.9 \text{ x } 207.17 / 14.27 \text{ x } 10^6 = 850.5\ N$ – مركبتي قوة القص الناتجة عن الفتل $\cos\alpha = (200-57.1)/207.17 = 0.69$ $\sin\alpha = 150/207.17 = 0.724$ $F_{mh} = F_m \sin\alpha = 850.5 \text{ x } 0.724 = 615.7\ N$ $F_{mv} = F_m \cos\alpha = 850.5 \text{ x } 0.69 = 586.8\ N$
العلاقة (10-23)	– حاصلة قوى القص $F_r = \sqrt{615.7^2 + (285.7+586.8)^2} = 1067.9\ N$
الجدول (10-5)	– عنق اللحام $a = F_r / p_w = 1067.5/220 = 4.9\ mm$ – ساق اللحام $s = a/0.7 = 7.0\ mm$ نختار لحام زاوي قياسه *8 mm*

الفصل الحادي عشر
الهياكل الفولاذيـة

1 - 11 مقدمـة

يبين الشكل (1-11) مبنى نموذجياً من طابق واحد يتألف من صفائح تغطية وعناصر فولاذية ثانوية كسكك الجدران وجوائز السقف الثانوية ومن إطارات رئيسية.



الشكل (1-11) الهيكل الإنشائي لمبنى صناعي

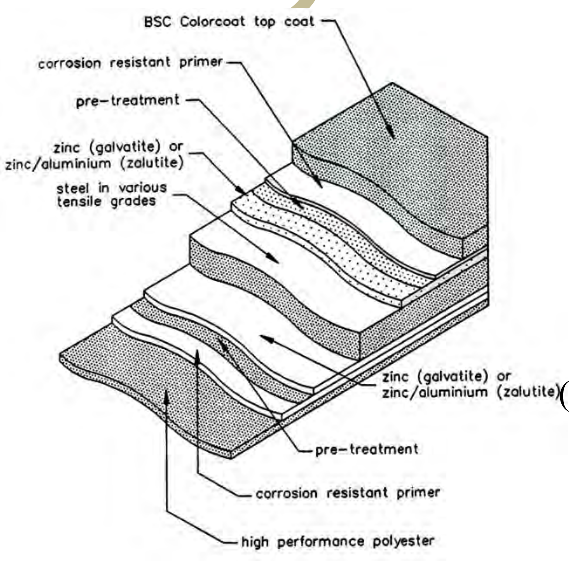
11-2 طبقات التغطية Clading

غالباً تتألف طبقة التغطية الرئيسية من صفائح فولاذية مطلية بطبقات مقاومة للصدأ كما هو مبين في الشكل (2-11) حيث تُغطى الصفائح الفولاذية بطبقة من التوتياء (غلفنة) تليها طبقة دهان أساس (برايمر) ومن ثم طبقة دهان للوجه الخارجي لتعطي اللون المناسب أو طبقة بوليستر للوجه الداخلي. إذاً تتم حماية الصفائح الفولاذية من الصدأ بشكل رئيسي بطبقة الغلفنة والتي تتألف من طبقة منتظمة من التوتياء بنسبة

98.5 % ويتم تنفيذها بعملية تغطيس مستمر للصفائح في محاليل التوتياء الساخنة. ويجب أن لا يقل وزن طبقتي الغلفنة على وجهي الصفيحة عما هو مبين في الجدول التالي حسب المواصفات البريطانية

وزن التوتياء على الوجهين		نوع الصفائح
Max (g/m^2)	Min (g/m^2)	
455	381	125
548	458	150
608	550	180
762	610	200

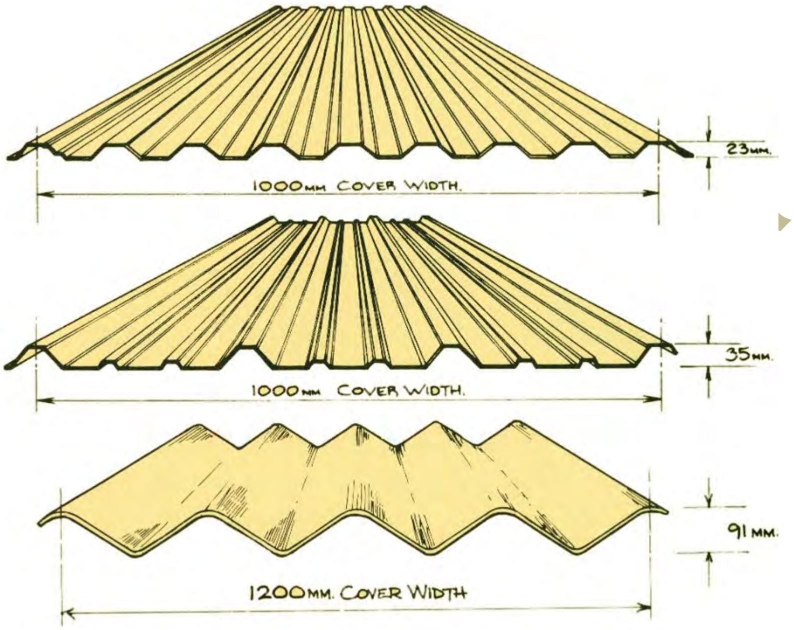
عندما تتعرض طبقة التوتياء للعوامل الجوية تتآكل ببطء حتى تُستَهلَك في النهاية وتعتمد سرعة التآكل على الشروط المحيطية فتكون سريعة في البيئة الصناعية الملوثة أو في البيئة البحرية، وتكون ديمومة الغلفنة كبيرة جداً عندما تكون الشروط المحيطية غير عدوانية وعلى كل الأحوال كلما كانت طبقة الغلفنة أسمك كلما دامت أطول.



الشكل (11-2)

يتم إعطاء صفائح التغطية صلابة كافية وذلك بتمويجها أو بتضليعها على البارد بأشكال مختلفة كما في الشكل (11-3) وذلك كي تكون قادرة على تحمل الأحمال

الحية التي يمكن أن تُطبَّق عليها خلال عمليات التركيب والصيانة وخلال استثمار المنشأ ويُحدد تحمل صفائح التغطية حسب أشكالها من نشرات الشركات المصنِّعة.



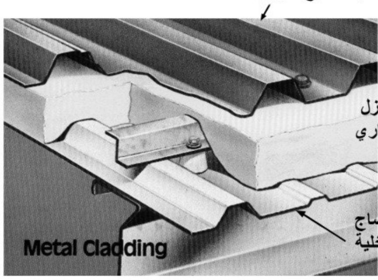
الشكل (11-3) أشكال مختلفة من صفائح التغطية

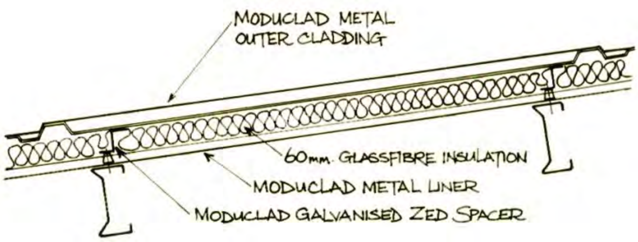
يجب أن تكون طبقات التغطية كتيمة ضد العوامل الجوية وأن تؤمن عازلية حرارية مناسبة وأن يكون منظرها جميلاً وأن تدوم لفترة طويلة مع الحد الأدنى من الصيانة. مواصفات تغطية الأسقف تختلف عن مواصفات تغطية الجدران إلى حد ما حيث متطلبات الكتامة في الأسقف تزداد في ضوء الطلب المتزايد على تخفيض زاوية ميل الأسقف. ويمكن أن يتم إنشاء طبقات التغطية على أشكال مختلفة من أهمها:

11-2-1 طبقة تغطية ثنائية القشرة Double shell cladding

تتألف طبقة التغطية كما في الشكل (11-4) من طبقة صاج خارجية مموجة أو مضلعة بسماكة لا تقل عن 0.7 mm وطبقة صاج داخلية سماكتها لا تقل عن 0.4 mm مع بعض التضليع. توضع بين طبقتي الصاج طبقة من الصوف الزجاجي

لتؤمّن عازلية حرارية لا تقل عن $0.44\ W/m^2\ C°$ وتكون سماكة طبقة العزل عادة حوالي 80 mm





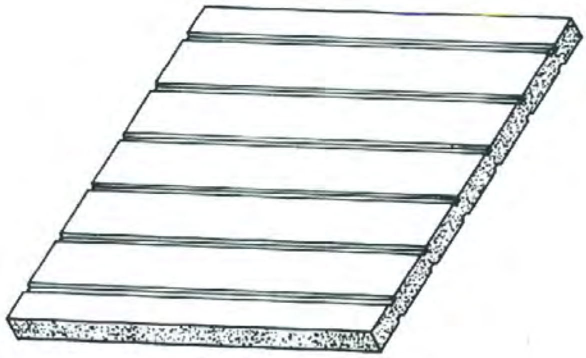
الشكل (4-11)

يتم تركيب طبقة الصاج الداخلية وتثبيتها أولاً على الجوائز الثانوية أو سكك الجدران ثم يتم تركيب عناصر على شكل Z لتحديد المسافة بين طبقتي الصاج وجمعهما مع بعض ثم يتم فرد طبقات العزل ويركب بعدها طبقة الصاج الخارجية بواسطة براغي كما في الشكل (4-11). شروط العزل المائي تتطلب أن لا تقل زاوية ميل التغطية عن °4

11-2-2 طبقات تغطية من ألواح مركّبة Composite panels

تُعتبر من أهم نظم التغطية المتطورة والتي تؤمّن حلاً لأغلب مشاكل التغطية المعدنية حيث يتم حقن المادة العازلة الرغوية (foam) بين طبقتي الصاج في المعمل تحت ضغط محدد لتملأ كامل الفراغ بين طبقتي الصاج فتعمل المادة العازلة بعد تصلبها بشكل مشترك مع صفيحتي الصاج فينتج ألواحاً صلبة قادرة على تحمل الأحمال

الخارجية. وعليه تحدد مقاومة الألواح بالعمل المشترك لطبقتي الصاج والمادة العازلة المحقونة بينهما وتحدد الشركات المصنعة لمثل هذه الألواح الأحمال الحية التي يمكن تحملها، ويبين الشكل (11-5) نموذجاً من هذه الألواح.



الشكل (11-5)

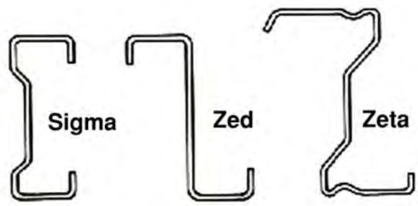
وفي كل الأحوال يجب أن يوفر مصنعوا طبقات التغطية كافة المعلومات الفنية من أبعاد وسماكات وأوزان وطرق تركيب ووسائط تثبيت على العناصر الثانوية والأحمال التي يمكن أن تتحملها طبقات التغطية بدلالة المسافة بين العناصر الفولاذية الساندة لها وكذلك الميل الأدنى التي تركب به وطرق وصل هذه الطبقات لتحقيق مستوى الكتامة المطلوب.

11-3 العناصر الثانوية Secondary elements

العناصر الثانوية هي العناصر التي تسند طبقات التغطية سواء في الأسقف أو الجدران وتنقل حمولاتها إلى العناصر الإنشائية الرئيسية. ويبين الشكل (11-1) هذين النوعين من العناصر الثانوية، ويقضي حسن أداء طبقات التغطية وشروط التقييد الجانبي للعناصر الإنشائية الرئيسية أن يكون التباعد بين العناصر الثانوية بين 1.2 – 2 m

تُصنع مقاطع العناصر الثانوية بأشكال مختلفة من الفولاذ المدرفل على الحامي أو من الصاج المشكل على البارد كما هو مبين في الشكل (11-6). وبينت الدراسات والتطبيقات العملية أن المقاطع المشكّلة على البارد هي الأكثر اقتصادية. وكان أول

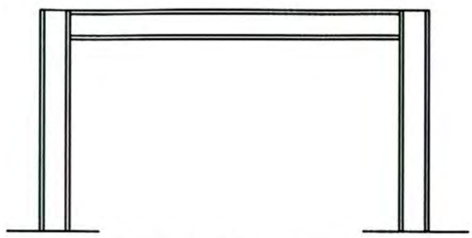
هذه المقاطع إنتاجاً المقطع على شكل Z حيث تم استخدام المادة بشكل فعّال ولكن محاوره الرئيسية تميل على مستوي الجسد، فإذا تعرض إلى عزم انعطاف في مستوي الجسد تنتج انتقالات خارج مستوي الجسد وإذا تم تقييد هذه الانتقالات تولدت قوى خارج مستوي الجسد. ولهذه الأسباب تم تطوير مقطع على شكل Σ حيث يمر مستوي الأحمال المطبقة من مركز القص. وفي كل الأحوال يقدم مصنعوا هذه المقاطع كافة المعلومات اللازمة عن هذه المقاطع والتي تمكن المصممين من اختيار المناسب منها.



الشكل (11-6)

11-4 الإطارات الرئيسية Primary frames

تسند الإطارات الرئيسية العناصر الثانوية التي تحمل صفائح التغطية حيث تنتقل الأحمال المطبقة على صفائح التغطية إلى العناصر الثانوية ومنها إلى الإطارات الرئيسية التي تقوم بدورها إلى نقلها إلى الأساسات. ويبين الشكل (11-7) أبسط أنواع الإطارات حيث يتألف من جائز أفقي وعمودين،

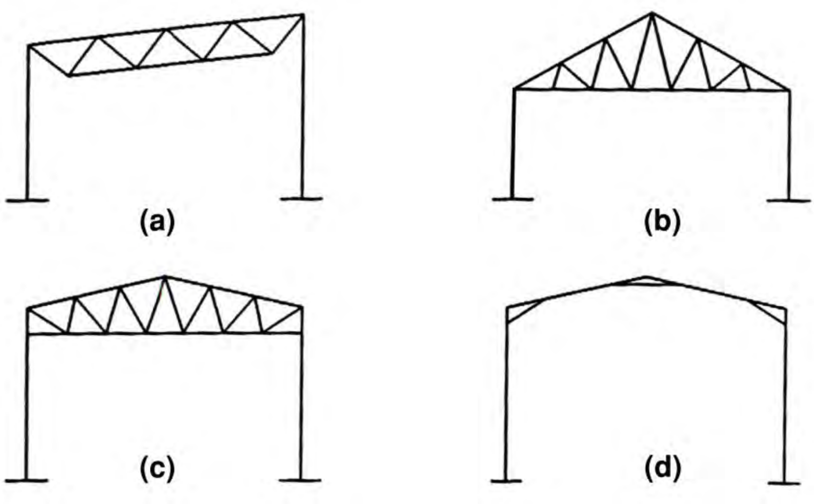


Simplest single-storey structure

الشكل (11-7)

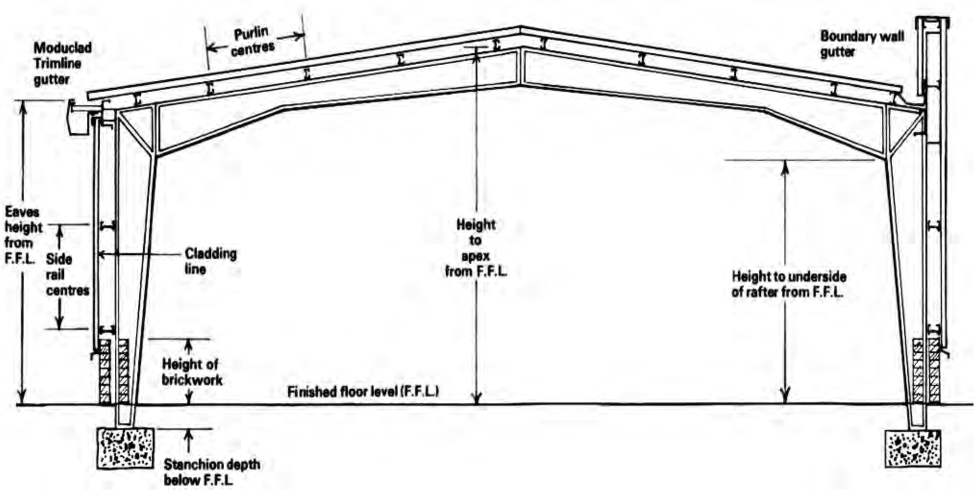
ولكن ضرورات تصريف مياه الأمطار تقتضي أن يكون للسطح ميلاً محدداً يتم تأمينه إذا كان المجاز صغيراً (أقل من 10m) عن طريق إنهاءات السطح، أما إذا كان المجاز كبيراً يؤمّن الميل بجعل الجائز مائلاً علىالأفق، لكن المتطلبات المعمارية تقتضي أن يكون هذا الميل بحده الأدنى وزاوية الميل الأكثر شيوعاً هي حوالي 6° . ويبين الشكل (11-8) أكثر أنواع الإطارات شيوعاً.

تكون جملة الجائز الشبكي والعمودين المبينة في الأشكال (11-8a-c) مفيدةً واقتصاديةً عندما يكون المجاز كبيراً، حيث تتألف عناصر جسد الجائز الشبكي من زوايا مدرفلة على الحامي، أما الوتران العلوي والسفلي فيتألفان من زوايا أيضاً أو مقاطع T لأن وصل مقاطع T أسهل حيث لا تحتاج إلى صفائح وصل. أما إذا كانت الأحمال المطبّقة على الجائز الشبكي كبيرة فيمكن أن تكون عناصر الجائز الشبكي مقاطع مجراية أو I مدرفلة على الحامي حسب الحاجة.



الشكل (11-8) أكثر أنواع الإطارات شيوعاً

.



الشكل (11-9) الإطار البابي (Portal frame)

تعدّ جملة الإطار البابي (Portal frame) المبينة في الشكلين (11-8d, 9) من أكثر الجمل شيوعاً في الأبنية وحيدة الطابق حيث يمكن أن يبلغ مجازه (60m)، ويتكوّن الإطار تقليدياً من مقاطع I قياسية مدرفلة على الحامي ولكن الفهم المتزايد لتصرف العناصر النحيفة أدى إلى الانتشار الواسع لاستخدام العناصر الصفائحية متغيرة العطالة في أعمدة وجوائز الجملة وذلك بغية الوصول إلى حلول اقتصادية. تتراوح المسافة بين الإطارات بين (6 – 8m) ويتراوح ارتفاع الإطار إلى نقطة اتصال الجائز بالعمود (الركبة) بين (6 – 15m). ويكون الإطار المتمفصل مع القاعدة أثقل من الإطار الموثوق مع قاعدته ولكن أساس الأخير أكبر بكثير مما يجعل الإطار المتمفصل مع القاعدة أكثر اقتصادية في النتيجة.

الفصل الثاني عشر
الأحمال على المنشآت

12 - 1 الأحمال الميتة Dead loads

يشتمل هذا النوع من الأحمال على الوزن الذاتي للعناصر وعلى الوزن الذاتي لكل الأجزاء الثابتة من المنشأ مثل طبقات التغطية للأسقف والجدران والإنهاءات والقواطع الثابتة .... وتحسب هذه الأوزان إما اعتماداً على الوزن النوعي للمواد المكونة لها أو تؤخذ من نشرات الشركات المصنعة لها، ويبين الجدول التالي الوزن النوعي لبعض مواد البناء الأساسية:

المادة	الوزن النوعي (kg/m^3)	الوزن النوعي (kN/m^3)
الفولاذ	7850	77
الخرسانة المسلحة	2420	23.7
أعمال الآجر	2000–2300	20 –23
أعمال البلوك	1400-1800	14-18
الخشب	500 –900	5–9

12-2 الأحمال الحية Imposed loads

تشتمل الأحمال الحية على أوزان الثلج على الأسقف النهائية وعلى أوزان الأشخاص والأثاث وعلى التجهيزات والآلات وعلى أوزان القواطع القابلة للحركة. يعتمد تقدير هذه الأحمال على دراسات إحصائية في مجال هندسة البناء انطلاقاً من الوظيفة المرجوة من البناء. ويبين الجدول التالي الأحمال الحية لبعض أنواع الأبنية:

نوع البناء	الحمل الحي (kN/m^2)
أبنية سكنية	1.5
أبنية مكاتب (حسب الاستخدام)	5 – 2.5
أبنية تعليمية	3.0
أبنية مسارح (ذات مقاعد ثابتة)	4.0
أبنية مستودعات	2.4 لكل متر ارتفاع تخزين
أبنية صناعية	5

ولتفصيل أكثر في الأحمال الحية لا بد من العودة إلى المواصفة البريطانية BS 6399: Part 1 لعام 1996

أما حمولات الأسطح النهائية فلا تتبع نوعية المنشأ وإنما تتبع لطريقة استخدامها وميلها:

- تقدر الحمولة الحية للأسطح الأفقية أوالمائلة حتى (10°) والتي من الممكن الوصول إليها (المنشآت المجهزة بأدراج حتى سقفها) بـ $(1.5\,kN/m^2)$ متضمنة وزن الثلج مقاسة على المسقط الأفقي للسطح، أو بحمولة مقدارها $(1.8\,kN)$ مركزة على مساحة مربعة ضلعها (300 mm) موضعة في الأمكنة التي تعطي أسوأ حالات التحميل. تؤخذ في الحساب إحدى الحمولتين (الموزعة أو المركّزة) والتي تعطي اسوأ حالة في الإجهادات على العناصر الحاملة.
- تقدر الحمولة الحية على الأسطح الأفقية أو المائلة حتى (30°) والتي لا يمكن الصعود إليها (غير مجهزة بأدراج حتى الأسقف) إلا لحالات الإصلاح والتنظيف بـ $(0.75\,kN/m^2)$ متضمنة وزن الثلج مقاسة على المسقط الأفقي، أو بحمولة مركزة مقدارها $(0.9\,kN)$ على مساحة مربعة ضلعها (300 mm) موضعة في الأمكنة التي تعطي أسوأ حالات التحميل. تؤخذ

في الحساب إحدى الحمولتين والتي تعطي حالة أسوأ في الإجهادات على العناصر الحاملة.

- لا حاجة لاعتبار أية حمولة حية للأسطح التي تميل على الأفق بزاوية أكبر من (75°)، أما للأسطح التي تكون زاوية ميلها بين (30°و 75°) فيمكن إيجاد مقدار حمولتها الحية بواسطة الاستقراء الخطي بين قيمتي $\left(0.75\,kN/m^2\right)$ والصفر وللحمولات المركّزة بين $\left(0.9\,kN\right)$ والصفر.

12-3 أحمال الرياح Wind loads

تسبب الرياح أحمالاً ديناميكية على الأبنية في كل الاتجاهات وتدوم فترة تتراوح من أجزاء الثانية إلى بضع دقائق أحياناً، وتتراوح شدتها من صغيرة إلى مدمرة. ولأغراض تصميمية من الضروري استبدال هذه الأحمال الديناميكية بأحمال ستاتيكية مكافئة. تبدأ عملية إيجاد هذه الأحمال المكافئة بتحديد سرعة رياح تصميمية $\left(V_s\right)$ للمنطقة قيد الدراسة ومن ثم تحويل هذه السرعة إلى ضغط ديناميكي $\left(q\right)$على سطوح المنشأ باستخدام العلاقة التالية:

$$q = \frac{1}{2}\rho V_s^2 \qquad (12\text{-}1)$$

حيث:

$\rho = 1.226\,kg/m^3$ كتلة واحدة الحجوم من الهواء حرارتها 15°c تحت ضغط جوي قدره 76 cm زئبق

نعوض قيمة ρ في المعادلة (12-1) ينتج

$$q = 0.613\ V_s^2 \qquad (12\text{-}2)$$

على أن تقدر V_s بالمتر في الثانية (m/s)وأن تقدر q بـ $\left(N/m^2\right)$

12-3-1 سرعة الرياح التصميمية

تحدد سرعة الرياح التصميمية للمنطقة قيد الدراسة وفق العلاقة التالية

$$V_s = V\,S_1\,S_2\,S_3 \qquad (12\text{-}3)$$

حيث:

V سرعة الرياح الأساسية وهي ثاني سرعة عاصفة من الرياح مدتها ثلاث ثوانٍ يتعرض لها المنشأ خلال خمسين عاماً وتحدد بعمليات إحصائية على سجلات سرعة الرياح المدونة في محطات الرصد الجوي حيث يتم القياس على ارتفاع 10 m فوق سطح الأرض في مناطق مستوية مفتوحة دون عوائق.

S_1 المعامل الطبوغرافي يعكس التغيرات المحلية الكبيرة في طبوغرافية سطح الأرض ويحدد من الجدول (12-1)

الجدول 12-1 المعامل الطبوغرافي S_1	
الوضع الطبوغرافي	قيمة S_1
a) سفوح الهضاب المكشوفة جداً والقمم حيث تتسارع الرياح والأودية التي يحدث فيها دوامات هوائية.	1.1
b) الأودية المغلقة والتي جوانبها ذات ميل شديد والتي تعتبر محمية من الرياح.	0.9
c) كل الحالات الأخرى عدا (a) و (b)	1.0

S_2 معامل الخشونة ويحدد وفقاً لخشونة سطح الأرض وتغير سرعة الرياح مع الارتفاع فوق سطح الأرض وحجم البناء أو جزء البناء قيد الدراسة وتُقسّم خشونة سطح الأرض إلى أربع فئات كما هو مبين في الجدول التالي:

رقم الفئة	اسم الفئة	أمثلة على الفئة
1	أرياف مفتوحة دون عوائق	المستنقعات، السبخات، المطارات، المناطق الساحلية المنبسطة، المزارع غير المحاطة بصادات رياح أو أسوار.
2	أرياف مع صادّات رياح متفرقة	الأرياف والمزارع المحاطة بصادات الرياح أو الأسوار.
3	أرياف مع العديد من صادّات الرياح والمدن الصغيرة وضواحي المدن الكبيرة	الحدائق العامة المسورة، مناطق الغابات، المدن الصغيرة وضواحيها، ضواحي المدن الكبرى حيث ارتفاع المستوي العام للأسطحة والعوائق حوالي 10 m.
4	مناطق ذات عوائق كبيرة ومتعددة	مراكز المدن ذات الأبنية العالية والمتقاربة حيث ارتفاع مستوى الأسطحة أكبر أو يساوي 25m.

وكذلك تم تقسيم أنواع الأبنية وتغطيتها وفق الأصناف الثلاث التالية:

الصنف	شمول الصنف
A	يشمل كل أجزاء طبقات التغطية، وأعمال الزجاج، وعناصر التثبيت
B	الأبنية والمنشآت التي لا يزيد بعدها الأفقي الأعظمي أو بعدها الشاقولي الأعظمي عن 50m
C	الأبنية والمنشآت خلاف الصنف B

تحدد قيمة المعامل S_2 من الجدول (12-2) بدلالة خشونة سطح الأرض وصنف البناء كما جاء في الفقرتين السابقتين وكذلك بدلالة الارتفاع فوق سطح الأرض حيث يجب أخذ الارتفاع إلى أعلى نقطة من المنشأ، أو يتم تجزئة ارتفاع المنشأ إلى أجزاء

يحدد لكل جزء منه قيمة للمعامل S_2 وذلك وفقاً لارتفاع أعلى نقطة فيه عن سطح الأرض. ويحدد الارتفاع فوق سطح الأرض بالفرق بين منسوب النقطة قيد الدراسة والمنسوب العام للأرض في جوار البناء وذلك على اعتبار عدم وجود شروط غير طبيعية، أما في الأحوال غير الطبيعية كوجود جروف أو منحدرات لا بد من العودة إلى الكود البريطاني CP3: Chapter V: Part 2

S_3 معامل إحصائي يتعلق بدرجة الأمان المطلوبة والمدة الزمنية التي سيتعرض لها المنشأ للرياح ويؤخذ مساوياً الواحد في حالات أحمال الرياح الطبيعية على المنشآت والمباني المنتهية.

12-3-2 ضغط الرياح

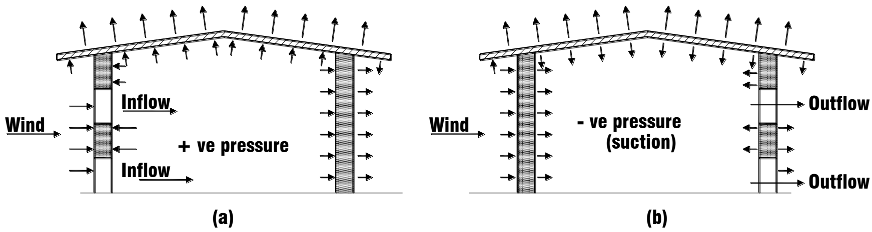
يعتمد ضغط الرياح الكلي على الجدران أو الأسقف على الفرق بين الضغط على الوجه الخارجي والضغط على الوجه الداخلي وعليه يحدد الضغط الكلي على أية نقطة من المنشأ وفق العلاقة التالية:

$$p = \left(C_{pe} - C_{pi}\right) q \qquad (12\text{-}4)$$

حيث: C_{pe} معامل الضغط الخارجي: تحدد قيمته على جدران المنشأ من الجدول (12-3) وعلى سقف المنشأ من الجداول (12-4,5-8) ويكون موجباً عندما يكون اتجاه الضغط من الفراغ المحيط إلى داخل المنشأ ويأخذ إشارة سالبة عندما يكون اتجاه الضغط عكس ذلك (مص).

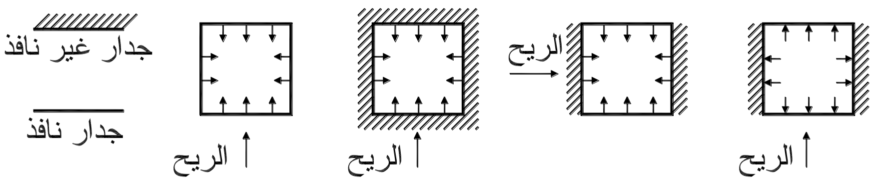
C_{pi} معامل الضغط الداخلي: نظراً لأن البناء لا يمكن أن يكون محكم الإغلاق ويمكن أن يكون مفتوحاً جزئياً بسبب النوافذ أو الأبواب أو فتحات التهوية .... فإن السطوح الداخلية للبناء ستتعرض إلى ضغوط موجبة أو سالبة (مص) وذلك طبقاً لوجود الفتحات على جدار البناء المواجه لاتجاه الرياح (Windward) أو على واجهة البناء الخلفية (Leeward), فعندما توجد الفتحات على الجدار المواجه للرياح فإن الضغط الداخلي سيزداد وبالتالي فإن حمل الرياح على السقف وعلى الجدار الخلفي للبناء سيزداد كما هو مبين في

الشكل (12-1a), وعلى العكس عندما تتوضع الفتحات على الواجهة الخلفية للبناء فإن الضغط الداخلي يتناقص مما يؤدي إلى زيادة في حمل الرياح على الجدار المواجه للرياح كما هو مبين في الشكل (12-1b).



الشكل (12-1) الضغط الداخلي

عملياً تحديد نفوذية أي جدار ليس سهلاً ولكن الشيء المهم لأغراض التصميم هو تحديد حالة التراكب الأسوأ بين الضغط الخارجي والضغط الداخلي المحتملة الحدوث على الجدران أو السقف. ويبين الشكل (12-2) قيم معامل الضغط الداخلي وفقاً لنفوذية الجدران واتجاه الرياح.



$C_{pi} = -0.3$ $\quad C_{pi} = -0.3$ $\quad C_{pi} = -0.3$ $\quad C_{pi} = +0.2$

الشكل (12-2) معامل الضغط الداخلي

12 - 4 حساب قوة الرياح الكلية

تحسب قوة الرياح الكلية F المطبقة على المنشأ باتجاه الريح وذلك بضرب الضغط الديناميكي q بمساحة واجهة البناء الفعالة A_e وبمعامل القوة C_f أي:

$$F = C_f \; q \; A_e \qquad (12\text{-}5)$$

يحدد معامل القوة C_f من الجدول (12-9) وذلك بدلالة أبعاد البناء. تحدد قيمة C_f لبناء ككل عندما يتم تجزيئ واجهة البناء إلى مساحات جزئية بغية حساب قوة الرياح المطبقة على أي جزء.

12- 5 قوة السحب نتيجة الاحتكاك Frictional drag

في بعض الأبنية ذات الشكل الخاص تضاف إلى القوى الناتجة عن الرياح المحسوبة وفق الفقرتين (12-3,4) قوة سحب F' ناتجة عن احتكاك الرياح بالبناء. ففي الأبنية المستطيلة تكون هذه القوة ذات قيمة ملموسة عندما تكون نسبة أبعاد البناء d/b أو d/h أكبر من 4, حيث h ارتفاع البناء و b بُعد مسقط البناء العمودي على اتجاه الرياح و d بُعد مسقط البناء الموازي لاتجاه الرياح. تحدد القوة F' وفق إحدى العلاقتين التاليتين

$$F' = C_{f'}\, qb\,(d-4h) + C_{f'}\, q2h\,(d-4h) \qquad (12\text{-}6) \qquad \text{عندما } h \le b$$

$$F' = C_{f'}\, qb\,(d-4b) + C_{f'}\, q2h\,(d-4b) \qquad (12\text{-}7) \qquad \text{عندما } h \ge b$$

حيث:

$C_{f'}$ معامل الاحتكاك ويتعلق بمدى خشونة طبقات التغطية ويحدد من الجدول التالي

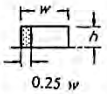
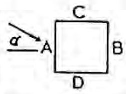
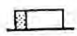
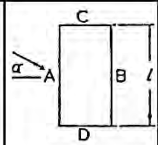
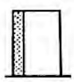
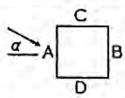
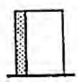
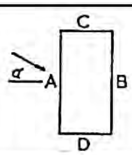
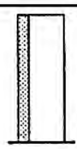
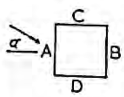
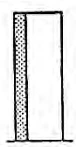
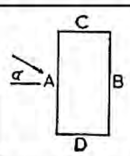
خشونة طبقات التغطية	$C_{f'}$
سطوح ملساء بدون تمويج أو تضليع أو أعصاب متعامدة مع اتجاه الريح	0.01
سطوح ذات تمويج متعامد مع اتجاه الريح	0.02
سطوح ذات أضلاع أو أعصاب متعامدة مع اتجاه الريح	0.04

يمثل الحد الأول في كلا المعادلتين (12-6 , 12-7) قوة السحب الناتجة عن الاحتكاك مع السقف، أما الحد الثاني فيمثل قوة السحب الناتجة عن الاحتكاك مع الجدران. كُتب الحدان بشكل منفصل وذلك لإعطاء إمكانية حساب $C_{f'}$ و q لكل من السقف والجدراين بشكل مستقل.

Ground roughness, building size and height above ground, factor S_2 (12-2) الجدول

H	(1) Open country with no obstructions			(2) Open country with scattered windbreaks			(3) Country with many windbreaks; small towns; outskirts of large cities			(4) Surface with large and frequent obstructions, e.g. city centres		
	Class			Class			Class			Class		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
m												
3 or less	0.83	0.78	0.73	0.72	0.67	0.63	0.64	0.60	0.55	0.56	0.52	0.47
5	0.88	0.83	0.78	0.79	0.74	0.70	0.70	0.65	0.60	0.60	0.55	0.50
10	1.00	0.95	0.90	0.93	0.88	0.83	0.78	0.74	0.69	0.67	0.62	0.58
15	1.03	0.99	0.94	1.00	0.95	0.91	0.88	0.83	0.78	0.74	0.69	0.64
20	1.06	1.01	0.96	1.03	0.98	0.94	0.95	0.90	0.85	0.79	0.75	0.70
30	1.09	1.05	1.00	1.07	1.03	0.98	1.01	0.97	0.92	0.90	0.85	0.79
40	1.12	1.08	1.03	1.10	1.06	1.01	1.05	1.01	0.96	0.97	0.93	0.89
50	1.14	1.10	1.06	1.12	1.08	1.04	1.08	1.04	1.00	1.02	0.98	0.94
60	1.15	1.12	1.08	1.14	1.10	1.06	1.10	1.06	1.02	1.05	1.02	0.98
80	1.18	1.15	1.11	1.17	1.13	1.09	1.13	1.10	1.06	1.10	1.07	1.03
100	1.20	1.17	1.13	1.19	1.16	1.12	1.16	1.12	1.09	1.13	1.10	1.07
120	1.22	1.19	1.15	1.21	1.18	1.14	1.18	1.15	1.11	1.15	1.13	1.10
140	1.24	1.20	1.17	1.22	1.19	1.16	1.20	1.17	1.13	1.17	1.15	1.12
160	1.25	1.22	1.19	1.24	1.21	1.18	1.21	1.18	1.15	1.19	1.17	1.14
180	1.26	1.23	1.20	1.25	1.22	1.19	1.23	1.20	1.17	1.20	1.19	1.16
200	1.27	1.24	1.21	1.26	1.24	1.21	1.24	1.21	1.18	1.22	1.21	1.18

Pressure coefficients C_{pe} for the walls of rectangular clad buildings (12-3) الجدول

Building height ratio	Building plan ratio	Elevation	Plan	Wind angle α	C_{pe} for surface A	B	C	D	Local C_p
$\frac{h}{w} \leqslant \frac{1}{2}$	$1 < \frac{l}{w} \leqslant \frac{3}{2}$			degrees 0	+0.7	−0.2	−0.5	−0.5	−0.8
				90	−0.5	−0.5	+0.7	−0.2	
	$\frac{3}{2} < \frac{l}{w} < 4$			0	+0.7	−0.25	−0.6	−0.6	−1.0
				90	−0.5	−0.5	+0.7	−0.1	
$\frac{1}{2} < \frac{h}{w} \leqslant \frac{3}{2}$	$1 < \frac{l}{w} \leqslant \frac{3}{2}$			0	+0.7	−0.25	−0.6	−0.6	−1.1
				90	−0.6	−0.6	+0.7	−0.25	
	$\frac{3}{2} < \frac{l}{w} < 4$			0	+0.7	−0.3	−0.7	−0.7	−1.1
				90	−0.5	−0.5	+0.7	−0.1	
$\frac{3}{2} < \frac{h}{w} < 6$	$1 < \frac{l}{w} \leqslant \frac{3}{2}$			0	+0.8	−0.25	−0.8	−0.8	−1.2
				90	−0.8	−0.8	+0.8	−0.25	
	$\frac{3}{2} < \frac{l}{w} < 4$			0	+0.7	−0.4	−0.7	−0.7	−1.2
				90	−0.5	−0.5	+0.8	−0.1	

NOTE. h is the height to eaves or parapet, l is the greater horizontal dimension of building and w is the lesser horizontal dimension of a building

Pressure coefficients C_{pe} for pitch roofs of rectangular clad buildings (12-4) الجدول

Building height ratio	Roof angle (degrees)	Wind angle α 0° EF	Wind angle α 0° GH	Wind angle α 90° EG	Wind angle α 90° FH	Local coefficients ▨	Local coefficients ▧	Local coefficients ▤	Local coefficients ▩
$\frac{h}{w} \leq \frac{1}{2}$	0	−0.8	−0.4	−0.8	−0.4	−2.0	−2.0	−2.0	—
	5	−0.9	−0.4	−0.8	−0.4	−1.4	−1.2	−1.2	−1.0
	10	−1.2	−0.4	−0.8	−0.6	−1.4	−1.4		−1.2
	20	−0.4	−0.4	−0.7	−0.6	−1.0			−1.2
	30	0	−0.4	−0.7	−0.6	−0.8			−1.1
	45	+0.3	−0.5	−0.7	−0.6				−1.1
	60	+0.7	−0.6	−0.7	−0.6				−1.1
$\frac{1}{2} < \frac{h}{w} \leq \frac{3}{2}$	0	−0.8	−0.6	−1.0	−0.6	−2.0	−2.0	−2.0	—
	5	−0.9	−0.6	−0.9	−0.6	−2.0	−2.0	−1.5	−1.0
	10	−1.1	−0.6	−0.8	−0.6	−2.0	−2.0	−1.5	−1.2
	20	−0.7	−0.5	−0.8	−0.6	−1.5	−1.5	−1.5	−1.0
	30	−0.2	−0.5	−0.8	−0.8	−1.0			−1.0
	45	+0.2	−0.5	−0.8	−0.8				
	60	+0.6	−0.5	−0.8	−0.8				
$\frac{3}{2} < \frac{h}{w} < 6$	0	−0.7	−0.6	−0.9	−0.7	−2.0	−2.0	−2.0	—
	5	−0.7	−0.6	−0.8	−0.8	−2.0	−2.0	−1.5	−1.0
	10	−0.7	−0.6	−0.8	−0.8	−2.0	−2.0	−1.5	−1.2
	20	−0.8	−0.6	−0.8	−0.8	−1.5	−1.5	−1.5	−1.2
	30	−1.0	−0.5	−0.8	−0.7	−1.5			
	40	−0.2	−0.5	−0.8	−0.7	−1.0			
	50	+0.2	−0.5	−0.8	−0.7				
	60	+0.5	−0.5	−0.8	−0.7				

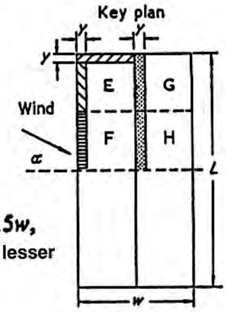
NOTE 1. h is the height to eaves or parapet and w is the lesser horizontal dimension of a building.

NOTE 2. The pressure coefficient on the underside of any roof overhang should be taken as that on the adjoining wall surface.

Where no local coefficients are given the overall coefficients apply

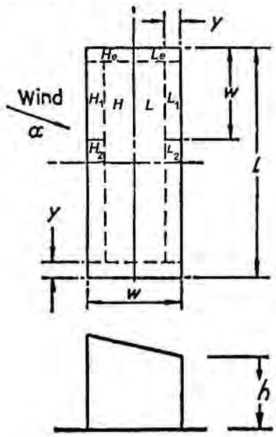
NOTE 3. For hipped roofs the local coefficient for the hip ridge may be conservatively taken as the appropriate ridge value.

Key plan



$y = h$ or $0.15w$, whichever is the lesser

Pressure coefficients C_{pe} for monopitch roofs of rectangular clad buildings with $h/w < 2$ — الجدول (12-5)



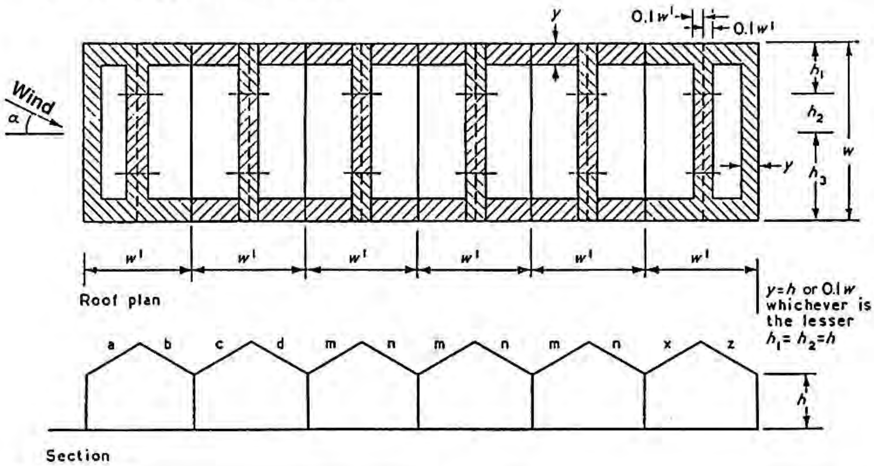
$y = h$ or $0.15\,w$, whichever is the lesser

NOTE. Area H and area L refer to the whole quadrant.

Roof angle	Wind angle α										Local C_{pe}					
	0°		45°		90°		135°		180°							
degree	H	L	H	L	H & L (Applies to length w/2 from windward end)	H & L (Applies to remainder)	H	L	H	L	H_1	H_2	L_1	L_2	H_e	L_e
5	−1.0	−0.5	−1.0	−0.9	−1.0	−0.5	−0.9	−1.0	−0.5	−1.0	−2.0	−1.5	−2.0	−1.5	−2.0	−2.0
10	−1.0	−0.5	−1.0	−0.8	−1.0	−0.5	−0.8	−1.0	−0.4	−1.0	−2.0	−1.5	−2.0	−1.5	−2.0	−2.0
15	−0.9	−0.5	−1.0	−0.7	−1.0	−0.5	−0.6	−1.0	−0.3	−1.0	−1.8	−0.9	−1.8	−1.4	−2.0	−2.0
20	−0.8	−0.5	−1.0	−0.6	−0.9	−0.5	−0.5	−1.0	−0.2	−1.0	−1.8	−0.8	−1.8	−1.4	−2.0	−2.0
25	−0.7	−0.5	−1.0	−0.6	−0.8	−0.5	−0.3	−0.9	−0.1	−0.9	−1.8	−0.7	−0.9	−0.9	−2.0	−2.0
30	−0.5	−0.5	−1.0	−0.6	−0.8	−0.5	−0.1	−0.6	0	−0.6	−1.8	−0.5	−0.5	−0.5	−2.0	−2.0

NOTE. h is the height to eaves at lower side, L is the greater horizontal dimension of a building and w is the lesser horizontal dimension of a building

Pressure coefficients C_{pe} for pitch roofs of multi-span buildings (12-6) الجدول
(all spans equal) with $h \not> w'$



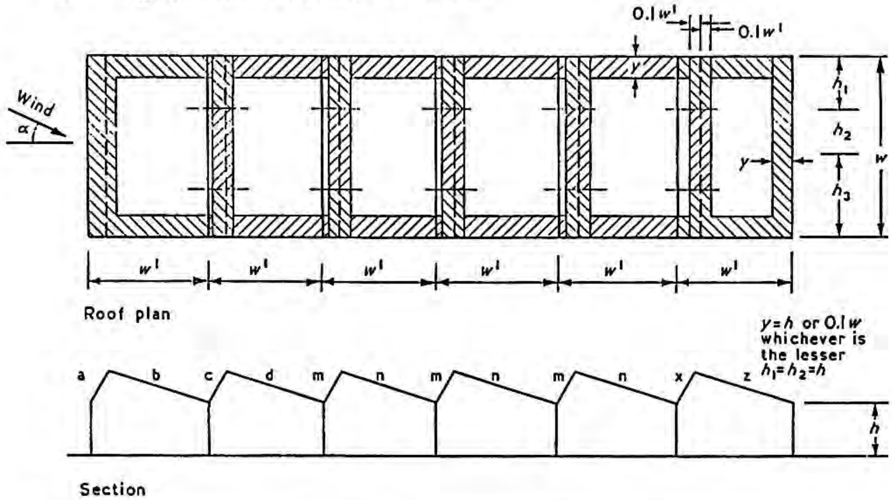
Roof angle	Wind angle α	First span a	First span b	First intermediate span c	First intermediate span d	Other intermediate spans m	Other intermediate spans n	End span x	End span z	Local coefficient (cross-hatched \\\\)	Local coefficient (hatched //)
degrees	degrees										
5	0	−0.9	−0.6	−0.4	−0.3	−0.3	−0.3	−0.3	−0.3		
10		−1.1	−0.6	−0.4	−0.3	−0.3	−0.3	−0.3	−0.4		
20		−0.7	−0.6	−0.4	−0.3	−0.3	−0.3	−0.3	−0.5	−2.0	−1.5
30		−0.2	−0.6	−0.4	−0.3	−0.2	−0.3	−0.2	−0.5		
45		+0.3	−0.6	−0.6	−0.4	−0.2	−0.4	−0.2	−0.5		

Roof angle	Wind angle α	Distance h_1	h_2	h_3
degrees	degrees			
Up to 45	90	−0.8	−0.6	−0.2

Frictional drag: when wind angle α = 0° horizontal forces due to frictional drag are allowed for in the above values;
when wind angle α = 90° allow for frictional drag in accordance with 12-5

NOTE. Evidence on these buildings is fragmentary and any departures from the cases given should be investigated separately.

Pressure coefficients C_{pe} for saw-tooth roofs of multi-span buildings (all spans equal) with $h \ngtr w'$ (12-7) الجدول



Wind angle α	First span		First intermediate span		Other intermediate spans		End spans		Local coefficient	
	a	b	c	d	m	n	x	z	(diagonal hatching)	(reverse hatching)
degrees										
0	+0.6	−0.7	−0.7	−0.4	−0.3	−0.2	−0.1	−0.3	−2.0	−1.5
180	−0.5	−0.3	−0.3	−0.3	−0.4	−0.6	−0.6	−0.1		

Wind angle α	Distance h_1	h_2	h_3
degrees			
90	−0.8	−0.6	−0.2
270	Similarly, but handed		

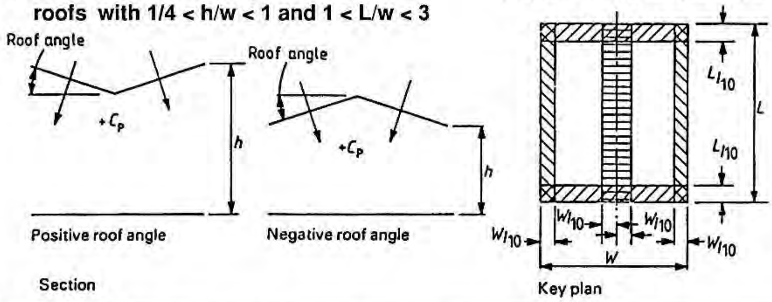
Frictional drag: when wind angle $\alpha = 0°$ horizontal forces due to frictional drag are allowed for in the above values;

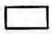
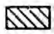
when wind angle $\alpha = 90°$ allow for frictional drag in accordance with 12-5

NOTE. Evidence on these buildings is fragmentary and any departures from the cases given should be investigated separately.

Pressure coefficients C_p for canopy roofs with $1/4 < h/w < 1$ and $1 < L/w < 3$

Duopich canopies (12-8a) الجدول

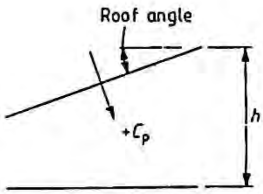


Roof angle (degrees)	Solidity ratio	Maximum and minimum pressure coefficients				
		Overall coefficients	Local coefficients			
						
− 20	All values of Φ	+ 0.7	+ 0.8	+ 1.6	+ 0.6	+ 1.7
− 15		+ 0.5	+ 0.6	+ 1.5	+ 0.7	+ 1.4
− 10		+ 0.4	+ 0.6	+ 1.4	+ 0.8	+ 1.1
− 5		+ 0.3	+ 0.5	+ 1.5	+ 0.8	+ 0.8
+ 5		+ 0.3	+ 0.6	+ 1.8	+ 1.3	+ 0.4
+ 10		+ 0.4	+ 0.7	+ 1.8	+ 1.4	+ 0.4
+ 15		+ 0.4	+ 0.9	+ 1.9	+ 1.4	+ 0.4
+ 20		+ 0.6	+ 1.1	+ 1.9	+ 1.5	+ 0.4
+ 25		+ 0.7	+ 1.2	+ 1.9	+ 1.6	+ 0.5
+ 30		+ 0.9	+ 1.3	+ 1.9	+ 1.6	+ 0.7
− 20	Φ = 0	− 0.7	− 0.9	− 1.3	− 1.6	− 0.6
	Φ = 1	− 0.9	− 1.2	− 1.7	− 1.9	− 1.2
− 15	Φ = 0	− 0.6	− 0.8	− 1.3	− 1.6	− 0.6
	Φ = 1	− 0.8	− 1.1	− 1.7	− 1.9	− 1.2
− 10	Φ = 0	− 0.6	− 0.8	− 1.3	− 1.5	− 0.6
	Φ = 1	− 0.8	− 1.1	− 1.7	− 1.9	− 1.3
− 5	Φ = 0	− 0.5	− 0.7	− 1.3	− 1.6	− 0.6
	Φ = 1	− 0.8	− 1. 1.2	− 1.7	− 1.9	− 1.4
+ 5	Φ = 0	− 0.6	− 0.6	− 1.4	− 1.4	− 1.1
	Φ = 1	− 0.9	− 1.3	− 1.8	− 1.8	− 2.1
+ 10	Φ = 0	− 0.7	− 0.7	− 1.5	− 1.4	− 1.4
	Φ = 1	− 1.1	− 1.4	− 2.0	− 1.8	− 2.4
+ 15	Φ = 0	− 0.8	− 0.9	− 1.7	− 1.4	− 1.8
	Φ = 1	− 1.2	− 1.5	− 2.2	− 1.9	− 2.8
+ 20	Φ = 0	− 0.9	− 1.2	− 1.8	− 1.4	− 2.0
	Φ = 1	− 1.3	− 1.7	− 2.3	− 1.9	− 3.0
+ 25	Φ = 0	− 1.0	− 1.4	− 1.9	− 1.4	− 2.0
	Φ = 1	− 1.4	− 1.9	− 2.4	− 2.1	− 3.0
+ 30	Φ = 0	− 1.0	− 1.4	− 1.9	− 1.4	− 2.0
	Φ = 1	− 1.4	− 2.1	− 2.6	− 2.2	− 3.0

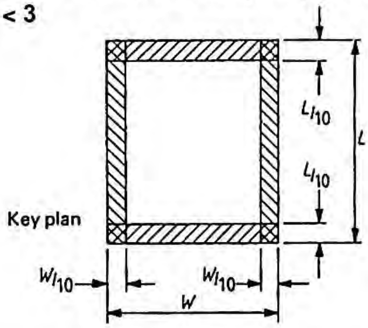
Each slope of a duopitch canopy should be able to withstand forces using both the maximum and the minimum coefficients, and the whole canopy should be able to support forces using one slope at the maximum coefficient with the other slope at the minimum coefficient.

Pressure coefficients C_p for canopy roofs with 1/4 < h/w < 1 and 1 < L/w < 3

Monopich canopies (12-8b) الجدول



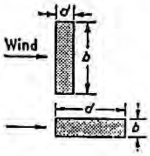
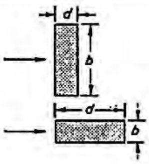
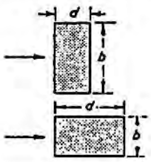
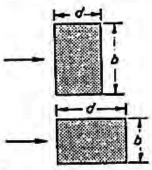
Section

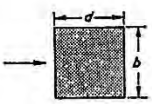


Roof angle (degrees)	Solidity ratio	Maximum and minimum pressure coefficients			
		Overall coefficients	Local coefficients		
			□	▨	▧
0 5 10 15 20 25 30	All values of Φ	+ 0.2 + 0.4 + 0.5 + 0.7 + 0.8 + 1.0 + 1.2	+ 0.5 + 0.8 + 1.2 + 1.4 + 1.7 + 2.0 + 2.2	+ 1.8 + 2.1 + 2.4 + 2.7 + 2.9 + 3.1 + 3.2	+ 1.1 + 1.3 + 1.6 + 1.8 + 2.1 + 2.3 + 2.4
0	$\Phi = 0$ $\Phi = 1$	− 0.5 − 1.0	− 0.6 − 1.2	− 1.3 − 1.8	− 1.4 − 1.9
5	$\Phi = 0$ $\Phi = 1$	− 0.7 − 1.1	− 1.1 − 1.6	− 1.7 − 2.2	− 1.8 − 2.3
10	$\Phi = 0$ $\Phi = 1$	− 0.9 − 1.3	− 1.5 − 2.1	− 2.0 − 2.6	− 2.1 − 2.7
15	$\Phi = 0$ $\Phi = 1$	− 1.1 − 1.4	− 1.8 − 2.3	− 2.4 − 2.9	− 2.5 − 3.0
20	$\Phi = 0$ $\Phi = 1$	− 1.3 − 1.5	− 2.2 − 2.6	− 2.8 − 3.1	− 2.9 − 3.2
25	$\Phi = 0$ $\Phi = 1$	− 1.6 − 1.7	− 2.6 − 2.8	− 3.2 − 3.5	− 3.2 − 3.5
30	$\Phi = 0$ $\Phi = 1$	− 1.8 − 1.8	− 3.0 − 3.0	− 3.8 − 3.8	− 3.6 − 3.6

For monopitch canopies the centre of pressure should be taken to act at 0.3*w* from the windward edge.
For duopitch canopies the centre of pressure should be taken to act at the centre of each slope.

Force coefficients C_f for rectangular clad buildings with flat roofs (12-9) الجدول
(acting in the direction of the wind)

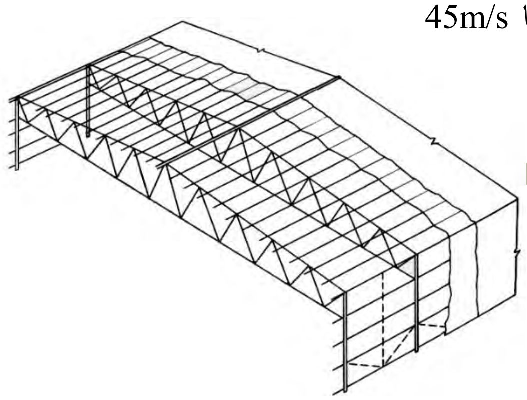
Plan shape	$\frac{l}{w}$	$\frac{b}{d}$	C_f for height / breadth ratio: Up to $\frac{1}{2}$	1	2	4	6
	$\geqslant 4$	$\geqslant 4$	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
		$\leqslant \frac{1}{4}$	0.7	0.7	0.75	0.75	0.75
	3	3	1.1	1.2	1.25	1.35	1.4
		$\frac{1}{3}$	0.7	0.75	0.75	0.75	0.8
	2	2	1.0	1.05	1.1	1.15	1.2
		$\frac{1}{2}$	0.75	0.75	0.8	0.85	0.9
	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	0.95	1.0	1.05	1.1	1.15
		$\frac{2}{3}$	0.8	0.85	0.9	0.95	1.0

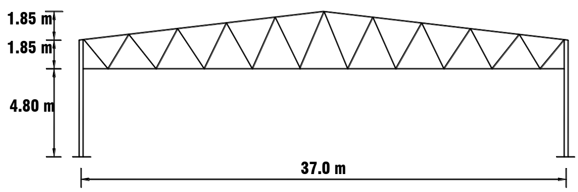
Plan shape	$\frac{l}{w}$	$\frac{b}{d}$	C_f for height / breadth ratio: Up to $\frac{1}{2}$	1	2	4	6	10	20
	1	1	0.9	0.95	1.0	1.05	1.1	1.2	1.4

NOTE. *b* is the dimension of the building normal to the wind, *d* is the dimension of the building measured in the direction of the wind, *l* is the greater horizontal dimension of a building and *w* is the lesser horizontal dimension of a building.

مثال : (12-1)

احسب أحمال الرياح على المبنى الصناعي المبين في الشكل أدناه علماً أن أبعاد مسقط البناء 90x37m والمسافة بين الإطارات الرئيسية 6m وزاوية ميل السقف 5.71° وأن البناء سيتم إشادته في مدينة صغيرة سرعة الرياح الأساسية فيها 45m/s





الحل :

* تحديد سرعة الرياح التصميمية والضغط الديناميكي

– المعامل الطبوغرافي $S_1 = 1$

– المعامل الإحصائي $S_3 = 1$

– معامل الخشونة: يحدد من الجدول (12-2) باعتبار أن البناء سيشاد في مدينة صغيرة (الفئة 3) وأن أحد بعدي مسقط البناء أكبر من 50m (الصنف C) وأن ارتفاع البناء بين 5-10m فنجد:

$S_2 = 0.69$ الجدول 12-2

– تحسب سرعة الرياح التصميمية والضغط الديناميكي كمايلي:

العلاقتين (12-3) $V_s = V\, S_1\, S_2\, S_3 = 45 \text{ x } 1 \text{ x } 1 \text{ x } 0.69 = 31\, m/s$

(12-2) $q = 0.613\, V_s^2 = 0.613 \text{ x } 31^2 \text{ x}10^{-3} = 0.59\, kN/m^2$

* تحديد معاملات الضغط وأحمال الإطار الرئيسي

– تحدد معاملات الضغط الخارجي على الجدران والسقف من الجدولين (12-3) و (12-4) على الترتيب باعتبار:

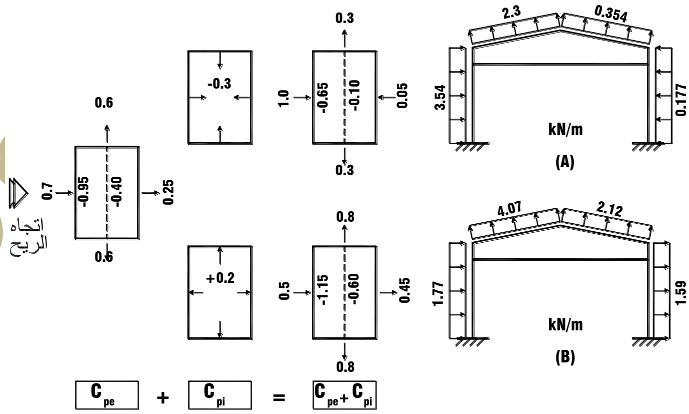
$h/w = 6.65/37 = 0.18 < 1/2$

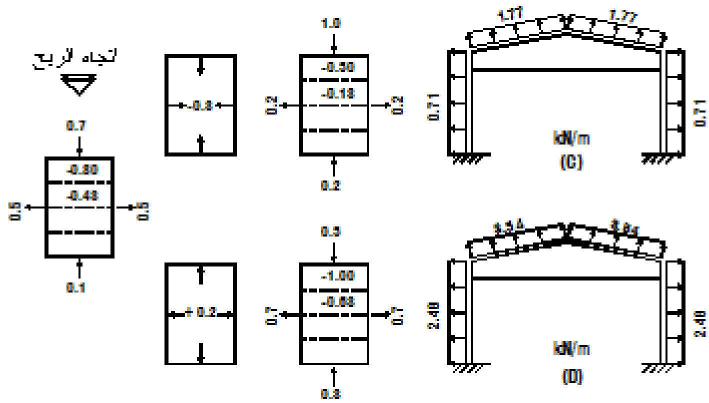
$3/2 < l/w = 90/37 = 2.43 < 4$

وزاوية ميل السقف $\theta = 5.71^\circ$

– تحدد معاملات الضغط الداخلي من الشكل (12-2) وتُراكب مع معاملات الضغط الخارجي لتنتج معاملات الضغط الكلي الأسوء على البناء ومنه حالات التراكب المبينة أدناه.

– تحدد أحمال الرياح الموزعة على كل من الإطارات الرئيسية بضرب الضغط الديناميكي بمعامل الضغط الكلي بالتباعد بين الإطارات فينتج حالات التحميل الأربعة المبينة أدناه.





* حساب قوة الرياح الكلية

– عندما تهب الرياح عمودياً على الواجهة الطويلة للبناء:

لابد من تحديد معامل خشونة جديد بالاعتماد على أن ارتفاع الواجهة الأمامية يساوي $4.8+1.85=6.65\,m$ وبالعودة للجدول (12-2) نجد:

$$S_2=0.63 \Rightarrow V_s=28.4\,m/s \Rightarrow q=0.49\,kN/m^2$$

ويحدد معامل القوة C_f بالعودة للجدول (12-9) وبالاعتماد على

الجدول 12-9

$$\left.\begin{aligned} l/w &= 90/37 = 2.43 \\ b/d &= 90/37 = 2.43 \\ h/b &= 6.65/90 = 0.07 \end{aligned}\right\} \Rightarrow C_f = 1.04$$

إذاً تحسب قوة الرياح الكلية التي يتعرض لها كل إطار رئيسي وفق العلاقة

العلاقة 12-5

$$F=C_f\; q\; A_e = 1.04 \text{ x } 0.49 \text{ x } (6 \text{ x } 6.65) = 20.3\;\; kN$$

– عندما تكون الرياح موازية لمحور البناء:

يكون الارتفاع الوسطي لواجهة البناء الجانبية التي تهب عليها الرياح يساوي $6.65+1.85/2=7.57\,m$ وعليه يكون معامل الخشونة والضغط الديناميكي مساويين تقريباً لما حُسب سابقاً أي $q=0.59\,kN/m^2$ ويحدد C_f كما في البند السابق ولكن بدلالة

الجدول 12-9

$$\left.\begin{array}{l} l/w = 2.43 \\ b/d = 37/90 = 0.4 \\ h/b = 7.57/37 = 0.2 \end{array}\right\} \Rightarrow C_f = 0.72$$

إذاً تحسب قوة الرياح الكلية التي يتعرض لها البناء في هذا الاتجاه كما يلي:

$$F = C_f\; q\; A_e = 0.72 \text{ x } 0.59 \text{ x } (37 \text{ x} 7.57) = 119 \;\; kN$$

ويجب أن تقاوم هذه القوة بجملة التربيط كما سنرى في فصل قادم

* حساب قوة السحب الناتجة عن الاحتكاك

- عندما تهب الرياح موازية لمحور البناء فإن $d/h = 90/8.5 = 10.5$ و $d/b = 90/37 = 2.43$ وعليه يجب أن تؤخذ قوة السحب بالحسبان وباعتبار أن طبقات التغطية المختارة لها أضلاع متعامدة مع اتجاه الرياح وبالعودة للفقرة (12-5) نجد أن معامل الاحتكاك $C_{f'} = 0.04$ وعليه تحسب قوة السحب وفق العلاقة التالية:

العلاقة 12-6

$$F' = C_{f'} \left[b\left(d - 4h_1\right) q_1 + 2h_2 \left(d - 4h_2\right) q_2 \right]$$

حيث

$q_1 = 0.59 \;\; kN/m^2$ الضغط الديناميكي على السطح

$q_2 = 0.49 \;\; kN/m^2$ الضغط الديناميكي على الجدران

$h_1 = 8.5\, m$ ارتفاع أعلى نقطة في السقف

$h_2 = 6.65\, m$ ارتفاع أعلى نقطة في الجدران

$$F' = 0.04\left[37\left(90 - 4 \text{ x } 8.5\right)0.59 + 2 \text{ x } 6.65\left(90 - 4 \text{ x } 6.65\right)0.49\right]$$
$$= 65.4 \;\; kN$$

يجب أن تضاف هذه القوة إلى قوة الرياح الكلية المحسوبة في الفقرة السابقة وأن يقاوم مجموعهما بجملة التربيط

- عندما تهب الرياح عمودياً على محور البناء فإن

$$d/b = 37/90 = 0.41 \;\;,\;\; d/h = 37./8.5 = 4.4$$

وعليه يجب أن تؤخذ قوة السحب بالحسبان. وبما أن أعصاب طبقات التغطية لا تتعارض مع اتجاه الرياح وبالعودة للفقرة (5-12) نجد أن معامل الاحتكاك $C_{f'} = 0.01$ وبناءً على ذلك تحسب قوة السحب وفق العلاقة التالية

$$F' = C_{f'}\left[\, b\left(d - 4h_1\right)q_1 + 2h_2\left(d - 4h_2\right)q_2 \,\right]$$

حيث

$h_1 = 8.5\,m$ ارتفاع أعلى نقطة في السقف

$h_2 = 7.57\,m$ الارتفاع الوسطي للجدار الجانبي الموازي للرياح

$$F' = 0.01\left[90\left(37 - 4 \times 8.5\right)0.59 + 2 \times 7.57\left(37 - 4 \times 7.57\right)0.49\right]$$
$$= 2.1\ kN$$

نلاحظ في هذه الحالة أن قوة السحب صغيرة جداً بالمقارنة مع الحالة السابقة ولهذا تهمل قوة السحب على الأبنية وحيدة الفتحة عندما تهب الرياح عمودياً على محورها.

الفصل الثالث عشر

الجوائز الثانوية وسكك الجدران

Purlins and side rails

1 - 13 مقدمـة

تُستعمَل المقاطع المشكّلة على البارد بشكل واسع كجوائز ثانوية أو سكك جدران، ويعتمد تصميم هذه المقاطع على نتائج تجارب تقوم بها الشركات الصانعة، ويبين الشكل (6-11) ثلاثة نماذج شائعة الاستعمال من هذه المقاطع، وتقوم هذه الشركات بتقديم نشرات فنية كاملة عن مقاطعها شاملة الأبعاد والخواص الهندسية والأحمال التي يمكن أن تتحملها والمجازات المناسبة لها.

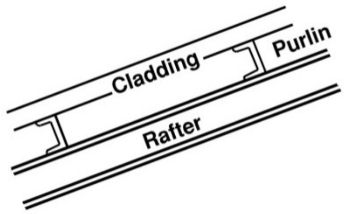
ويمكن أن تُستعمل المقاطع المدرفلة على الحامي بل تُفضَّل أحياناً كبديل عن المقاطع المشكّلة على البارد.

2- 13 متطلبات تصميمية Design requirments

كما رأينا في الفصل الخامس يعتمد تصميم العناصر الخاضعة للإنعطاف على:

- درجة التقييد الجانبي المفروضة على الجناح المضغوط.
- مقاومة المقطع للفتل.
- درجتي التقييد الجانبي والفتل المفروضتين على العنصر عند مسانده.

يُعتبَر الجناح المضغوط في الجوائز الثانوية وسكك الجدران ممنوعاً من الانتقال الجانبي بسبب طبقات التغطية المتصلة بالجناح بشكل مستمر بواسطة عناصر ربط كافية (براغي)، انظر الشكل (1-13)، ويكون ذلك صحيحاً عندما يتحمل الجائز الثانوي وسكك الجدران الأحمال الميتة والحية وضغط الرياح، أما عندما تؤثر الرياح بضغط سالب (مص) على المنشأ قد ينعكس ذلك فيصبح الجناح غير المقيد بطبقات التغطية مضغوطاً، وفي كل الأحوال تتمتع الجوائز الثانوية وسكك الجدران بقيود جانبية وقيود فتل عند مساندها.

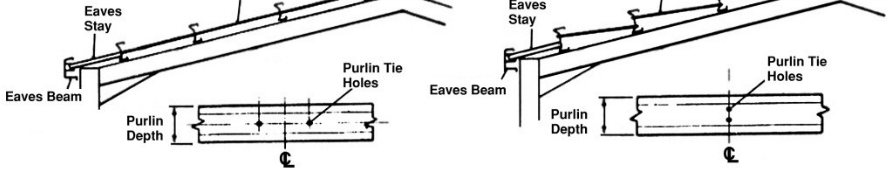


الشكل (13-1)

تتعرض سكك الجدران إلى أحمال شاقولية بسبب أوزان طبقات التغطية وإلى أحمال أفقية بسبب الرياح ولكن بشكل عام لا تُصمَّم سكك الجدران على الأحمال االشاقولية وذلك لأن طبقات التغطية تعمل كجائز عميق تحت تأثير هذه الأحمال. وبناءً على ذلك تُصمَّم سكك الجدران فقط على الأحمال الأفقية الناتجة عن الرياح.

يُستعمَل أحياناً قضبان ربط (sagrods) بين الجوائز الثانوية وسكك الجدران وذلك لتخفيض طولها الفعال بحيث يتحول الجائز الثانوي أو سكة الجدار إلى عنصر مستمر، انظر الشكل (13-2). ولكن يجب أخذ ردود أفعال قضبان الربط عند نقاط تثبيتها على جائز ذروة المنشأ وعلى الجائز الذي يصل بين السقف ورؤوس الأعمدة.

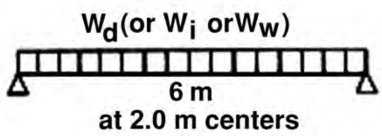
من المفيد أن تكون الجوائز الثانوية وسكك الجدران مستمرة على أكثر من مجاز وذلك بغية تخفيض قيمة العزم الواجب مقاومته، ونتيجة لذلك يتحسن أداؤها على مقاومة تحنيب الفتل الجانبي وبالتالي يمكن تخفيض قياس المقاطع العرضية لهذه العناصر، ويمكن تحقيق الاستمرار إما بتصنيع عناصر طولها يغطي مجازين أو أكثر ولكن متطلبات النقل والتركيب تجعل من الصعب استعمال عناصر بطول أكثر من مجازين (حوالي 12 m)، ويمكن تحقيق الاستمرارية بتنفيذ وصلات لهذه العناصر قادرة على نقل عزم الانعطاف ولكن قد يكون ذلك مكلفاً وغير مبرر اقتصادياً.



الشكل (13-2) قضبان الربط بين العناصر الثانوية

مثال (13-1)

صمِّم الجائز الثانوي المبين في الشكل أدناه من فولاذ ماركته S275 علماً أن مجازه 6.0 m واستناده بسيط وزاوية ميل السقف 20° وأن الأحمال المطبّقة على المنشأ هي كما يلي:



الحمل الميت $0.15\,kN/m^2$

الحمل الحي $0.75\,kN/m^2$

حمل الرياح (مص) $-0.40\,kN/m^2$

الحل :

* نختار مقطع مجراية 152 x 76 x 17 خواصه كما يلي:

$D = 152.4\,mm$, $B = 76.2\,mm$, $t = 6.4\,mm$, $T = 9.0\,mm$

$b/T = 8.47$, $d/t = 16.6$, $A = 22.8\,cm^2$

$I_x = 852\,cm^4$, $I_y = 114\,cm^4$, $r_x = 6.11\,cm$, $r_y = 2.23\,cm$

$Z_x = 112\,cm^3$, $Z_y = 21.0\,cm^3$, $S_x = 130\,cm^3$, $S_y = 41.2\,cm^3$

* خصائص المقطع

– باعتبار أن سماكة الجناح $T < 16\,mm$ وأن ماركة الفولاذ المستخدم S275 فإن $p_y = 275\,N/mm^2$ و $\varepsilon = (275/p_y)^{1/2} = 1$ — الجدول (2-1)

– المقطع لدن لأن — الجدول (2-2)

$b/T = 8.47 < 9\,\varepsilon$

$d/t = 16.5 < 40\,\varepsilon$

* الأحمال

– الحمل الميت الكلي:

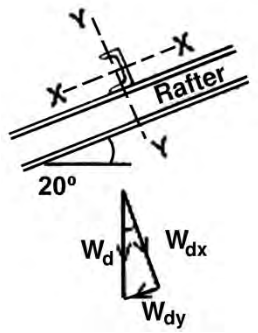
من طبقات التغطية $2.0 \times 6.0 \times 0.15 = 1.8\;kN$

من الوزن الذاتي $6.0 \times 0.18 = 1.08\;kN$

$W_d = 2.88\;kN$

الحي الكلي $W_i = 2.0 \cos 20^\circ \text{ x } 6.0 \text{ x } 0.75 = 8.46 \ kN$

- حمل الرياح الكلي $W_w = 2.0 \text{ x } 6.0 \text{ x } (-0.4) = -4.80 \ kN$
- بما أن الحملين الميت والحي شاقوليان وأن محور الجائز الثانوي الرئيسي يميل °20 على الأفق، لابد من تحليل كل من هذين الحملين إلى مركبتين إحداهما



(W_{dx}, W_{ix}) موازية للمحور y-y وتنتج عزوماً حول المحور x-x والثانية (W_{dy}, W_{iy}) موازية للمحور x-x وتنتج عزوماً حول المحور y-y

$W_{dx} = 2.88 \cos 20^\circ = 2.71 \ kN \ , \ W_{dy} = 2.88 \sin 20^\circ = 0.99 \ kN$

$W_{ix} = 8.46 \cos 20^\circ = 7.95 \ kN \ , \ W_{iy} = 8.46 \sin 20^\circ = 2.89 \ kN$

أما حمل الرياح فهو موازٍ بالأصل للمحور y-y لأنه عمودي على سطح التغطية

$W_{wx} = -4.80 \ kN$

* تراكب الأحمال: سيكون هناك حالتي تحميل حرجتين

- حالة التحميل الأولى

الجدول 1-2

$W_x = 1.4 W_{dx} + 1.6 W_{ix} = 1.4 \text{ x } 2.71 + 1.6 \text{ x } 7.95 = 16.5 \ kN$

$W_y = 1.4 W_{dy} + 1.6 W_{iy} = 1.4 \text{ x } 0.99 + 1.6 \text{ x } 2.89 = 6.0 \ kN$

- حالة التحميل الثانية

الجدول 1-2

$W_x = 1.0 W_{dx} + 1.4 W_{wx} = 1.0 \text{ x } 2.71 + 1.4 \text{ x } (-4.8) = -4.01 \ kN$

$W_y = 1.0 W_{dy} = 1.0 \text{ x } 0.99 = 0.99 \ kN$

* تحقيق حالة التحميل الأولى

- عزم الانعطاف والقص الأعظميين حول المحور x-x

	$M_x = 16.5 \text{ x } 6.0 / 8 = 12.4 \;\; kNm$
	$F_x = 16.5 / 2 = 8.3 \;\; kN$
	– عزم الانعطاف والقص الأعظميين حول المحور y-y
	$M_y = 6.0 \text{ x } 6.0 / 8 = 4.5 \;\; kNm$
الفقرة 5-2 العلاقة 5-1	$F_y = 6.0 / 2 = 3 \;\; kNm$
	– تحقيق القص $A_{vx} = Dt = 152.4 \text{ x } 6.4 = 975 \;\; mm^2$
	$P_{vx} = 0.6 \, p_y \; A_{vx} = 0.6 \text{ x } 275 \text{ x } 975 \text{ x } 10^{-3} = 161 \;\; kN \; > \; F_x$
	$A_{vy} = 0.9 \; A_o = 0.9 \text{ x } 2 \; BT = 0.9 \text{ x } 2 \text{ x } 76.2 \text{ x } 9.0 = 1234 \;\; mm^2$
	$P_{vy} = 0.6 \, p_y \; A_{vy} = 0.6 \text{ x } 275 \text{ x} 1234 \text{ x } 10^{-3} = 204 \;\; kN \; > \; F_y$
	* تحقيق العزم
	– بما أن المقطع لدن وأن القص المطبّق أقل من 60% من طاقة التحمل على القص فإن طاقة تحمّل العزم تحسب كما يلي:
العلاقة 5-2	$M_{cx} = p_y \; S_x \;\; \leq 1.2 \; p_y \; Z_x$
	إما $M_{cx} = 275 \text{ x } 130 \text{ x } 10^{-3} = 35.8 \;\; kNm$
	أو $M_{cx} = 1.2 \text{ x } 275 \text{ x } 112 \text{ x } 10^{-3} = 37.0 \;\; kNm$
	إذاً $M_{cx} = 35.8 \;\; kNm$
	$M_{cy} = p_y \; S_y \;\; \leq 1.2 \; p_y \; Z_y$
الفقرة 5-3	باعتبار أن $S_y > 1.2 \, Z_y$ يمكن استبدال المعامل 1.2 في العلاقة السابقة بالنسبة بين الأحمال المصعّدة والأحمال غير المصعّدة أي
	بالنسبة $W_y / \left(W_{dy} + W_{iy}\right) = 6.0 / \left(0.99 + 2.89\right) = 1.55$
	إذاً تُحسب طاقة تحمّل العزم حول المحور y-y وفق إحدى العلاقتين التاليتين
	إما $M_{cy} = 275 \text{ x } 41.2 \text{ x } 10^{-3} = 11.4 \;\; kNm$
	أو $M_{cy} = 1.55 \text{ x } 275 \text{ x } 21.0 \text{ x } 10^{-3} = 9.0 \;\; kNm$

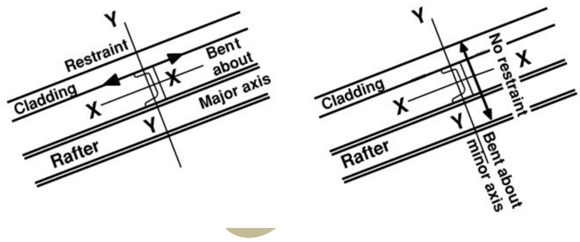
إذاً $M_{cy} = 9.0 \ kNm$

كي يكون المقطع محققاً موضعياً يجب أن يحقق علاقة الترابط التالية: (العلاقة 8-1)

$$\frac{M_x}{M_{cx}} + \frac{M_y}{M_{cy}} = \frac{12.4}{35.8} + \frac{4.5}{9.0} = 0.85 \ < \ 1 \qquad o.k.$$

- تحقيق تحنيب الفتل

باعتبار أن الجناح المضغوط ممسوك بطبقات التغطية، لاداعي لتحقيق تحنيب الفتل الجانبي الناتج عن الانعطاف حول المحور x-x ولايتم دراسة عدم الاستقرار حول المحور الضعيف y-y وفقاً للفقرة (5-4) نظراً لأن الجائز يتعرض إلى أحمال تنتج عزماً حول هذا المحور.



* تحقيق حالة التحميل الثانية

- عزمي الانعطاف حول المحورين

$$M_x = -4.01 \text{ x } 6.0 / 8 = -3.01 \ kNm$$
$$M_y = 0.99 \text{ x } 6.0 / 8 = 0.75 \ kNm$$

إن قيمتي M_x و M_y الناتجتين عن هذه الحالة أصغر بكثير من مثيلتيهما في الحالة السابقة لذا لاحاجة لتحقيق الجائز على العزم موضعياً ولكن الإشارة السالبة لـ M_x تدل على أن الجناح العلوي للمجراية سيكون مشدوداً وأن الجناحح السفلي غير المقيد جانبياً سيكون مضغوطاً ولذلك لابد من تحقيق الجائز على تحنيب الفتل الجانبي.

- الطول الفعال ونسبة النحافة حول المحور الضعيف

$$L_E = 1.0 \text{ x } 6.0 = 6.0 \ m$$
$$\lambda = L_E / r_y = 6.0 \text{ x } 10^3 / 22.3 = 268 \ < \ \lambda_{max} = 350$$

– نسبة النحافة المكافئة $\lambda_{LT} = u\, v \lambda \sqrt{\beta_w}$ $u = 0.9$ المقطع مجراية	العلاقة 5-15
$x = D/T = 152.4/9.0 = 17$ $\left.\begin{array}{l}\lambda / x = 15.8 \\ \eta = 0.5\end{array}\right\} \Rightarrow v = 0.52$ $\beta_w = 1$ $\lambda_{LT} = 0.9 \text{ x } 0.52 \text{ x } 268\text{x}1 = 125$	الجدول 5-5
– مقاومة الانعطاف $\left.\begin{array}{l}p_y = 275 \\ \lambda_{LT} = 125\end{array}\right\} \Rightarrow p_b = 90 \ \ N/mm^2$	الجدول 5-7
– العزم المقاوم للتحنيب $M_b = p_b\, S_x = 90 \text{ x } 130 \text{ x } 10^{-3} = 11.7 \ \ kNm$ – معامل العزم المنتظم $m_{LT} = 0.925$ لأن العنصر محمّل حملاً موزعاً بانتظام بين نقطتي السند الجانبي وكذلك $m_x = m_y = 0.95$	الجدولين 5-6 6-1
لتجنب حدوث تحقيق تحنيب كلي يجب أن يحقق الجائز علاقتي الترابط التاليتين: $\frac{m_x M_x}{p_y Z_x} + \frac{m_y M_y}{p_y Z_y} \le 1$ $\frac{0.95 \text{ x } 3.01}{275 \text{ x } 112 \text{ x } 10^{-3}} + \frac{0.95\text{x } 0.75}{275 \text{ x } 21.0 \text{ x } 10^{-3}} = 0.21 < 1 \qquad o.k.$	العلاقة 8-3
$\frac{m_{LT} M_{LT}}{M_b} + \frac{m_y M_y}{p_y Z_y} \le 1$ $\frac{0.925 \text{ x } 3.01}{11.7} + \frac{0.95\text{x } 0.75}{275 \text{ x } 21.0 \text{ x } 10^{-3}} = 0.36 < 1 \qquad o.k.$ * تحقيق تحمّل وتحنيب جسد المقطع:	العلاقة 8-4

ليس من الضروري عادةً تحقيق جسد مقطع الجائز الثانوي المستخدم في أسقف الأبنية الصناعية على تحمّل وتحنيب الجسد لصغر الأحمال التي يحملها وهذا واضح من مقدار القص عند مسند الجائز (F_x)

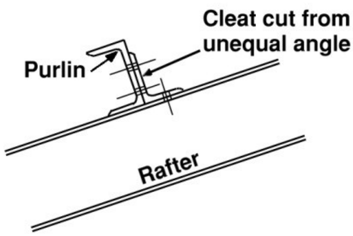
* تحقيق السهم:

إن السهم الأعظمي المسموح به والناتج عن الأحمال الحية غير المصعّدة غير محدد في الجدول (1-3) ولكن جرت العادة أن يؤخذ كما يلي:

$$\delta_{\lim} = L/200 = 6000/200 = 30\,mm$$

$$\delta_x = \frac{5\,W_{ix}\,L^3}{384\,E\,I_x} = \frac{5 \text{ x } 7.95 \text{ x } 6000^3}{384 \text{ x } 205 \text{ x } 852 \text{ x } 10^4} = 12.8\,mm < \delta_{\lim} \quad o.k.$$

يتم وصل الجائز الثانوي إلى الجائز الحامل له ببراغي عن طريق زاوية سند كما هو مبين في الشكل أدناه وتصميم هذه الوصلة إنشائي نظراً لصغر ردوود أفعال الجائز الثانوي.



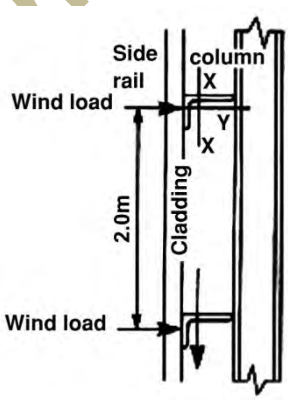
مثال: (2-13)

صمِّم سكك الجدران المبينة في الشكل أدناه من فولاذ ماركته S275 علماً أن مجاز السكة m 5.0 والمسافة بين السكك m 2.0 وأن الأحمال المطبّقة على المنشأ هي كما يلي:

الحمل الميت الناتج عن التغطية $0.18\,\text{kN/m}^2$

حمل الرياح (ضغط) $0.8\,\text{kN/m}^2$

الحل :



* نختار زاوية 125 x 75 x 10 لتعمل كسكة جدار خواصها:

$I_x = 303\ cm^4\ ,\ I_y = 82.5\ cm^2\ , Z_x = 36.7\ cm^3\ , Z_y = 14.4\ cm^3$

$r_y = 2.08\ cm$

* خصائص المقطع

- باعتبار أن سماكة الجناح $T < 16\, mm$ وأن ماركة الفولاذ المستخدم S275 فإن $p_y = 275\ N/mm^2$, $\varepsilon = (275/p_y)^{1/2} = 1$

- المقطع نصف مدمج لأن

الجدول 2-2

$b/T = 75/10 = 7.5 < 15\,\varepsilon$

$d/t = 125/10 = 12.5 < 15\,\varepsilon$

$(b+d)/T = (75+125)/10 = 20 < 24\,\varepsilon$

* الأحمال:

كما جاء في الفقرة (2-13) تصمم سكك الجدران على الأحمال الأفقية فقط، وبناءً على ذلك فإن القوى التي يجب التصميم عليها هي قوى الرياح وتحسب كما يلي:

$W_w = 2.0 \text{ x } 5.0 \text{ x } 0.8 = 8.0\ kN$

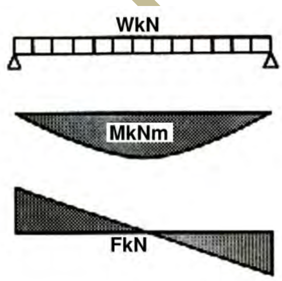
$W_x = 1.4\, W_w = 1.4 \text{ x } 8.0 = 11.2\ kN$

- عزم الانعطاف

$M_x = 11.2 \text{ x } 5.0/8 = 7.0\ kNm$

- قوة القص

$F_x = 11.2/2 = 5.6\ kN$



* تحقيق طاقة تحمّل القص

الفقرة 5-2

مساحة القص $A_{vx} = 0.9\, dt = 0.9 \text{ x } 125 \text{ x } 10 = 1125\, mm^2$

العلاقة 5-1

$P_{vx} = 0.6\ A_v\ p_y = 0.6 \text{ x } 1125 \text{ x } 275 \text{ x } 10^{-3} = 186\ kN > F_x$

* تحدد طاقة تحمّل العزم للمقطع بتطبيق العلاقة (5-3) لأن المقطع

نصف مدمج

$$M_{cx} = p_y Z_x = 275 \text{ x } 36.7 \text{ x } 10^{-3} = 10.0\ kN > \text{M}_x \qquad o.k.$$

* تصميم سكك الجدران لا يتطلب عادةً تحقيق تحمّل وتحنيب الجسد

* تحقيـق السـهم: كمـا فـي حالـة جـوائز السـقف الثانويـة يُحـدد السـهم الأعظمي المسموح به الناجم عن أحمال الاستثمار بـ:

$$\delta_{\lim} = L/200 = 5000/200 = 25\ mm$$

$$\delta_x = \frac{5\,W_w\,L^3}{384\,E\,I_x} = \frac{5 \text{ x } 8 \text{ x } 5000^3}{384 \text{ x } 205 \text{ x } 303 \text{ x } 10^4} = 21\ mm < \delta_{\lim} \qquad o.k.$$

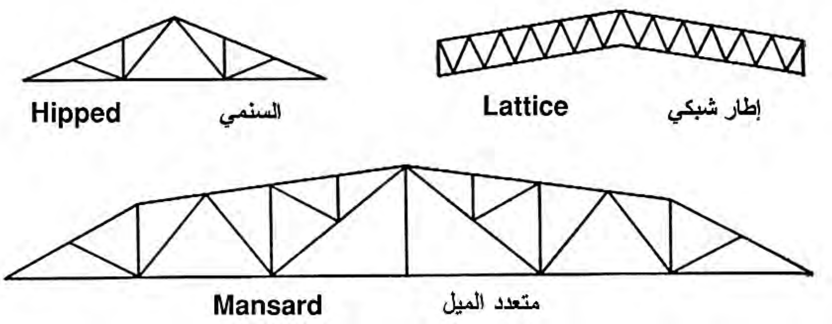
الفصل الرابع عشر

تصميم الجوائز الشبكية

Design of Trusses

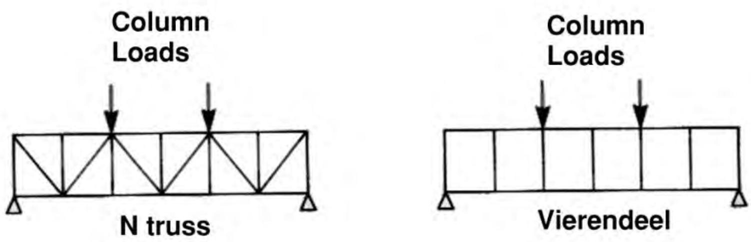
1 - 14 أنواع الجوائز الشبكية واستخداماتها

تُصنَّع الجوائز الشبكية من عناصر فولاذية مختلفة وتوصَل مع بعضها بواسطة صفائح وصل ولحام أو براغي، وتُصمَّم عادةً كإطارات متمفصلة في عقدها على الرغم من أن بعض العناصر الرئيسية تُصمَّم مستمرة. يبين الشكل (14-1) مجموعة من الجوائز الشبكية شائعة الاستعمال في أسقف المباني الصناعية حيث يتعلق اختيار أحدها بميل السقف والمجاز المزمع تغطيته، فالجائز الشبكي السنمي يستخدم في المجازات القصيرة (حتى 8 m) بينما يستخدم الإطار الشبكي في المجازات المتوسطة، أما الجائز الشبكي المتعدد الميل يستخدم في المجازات الكبيرة.

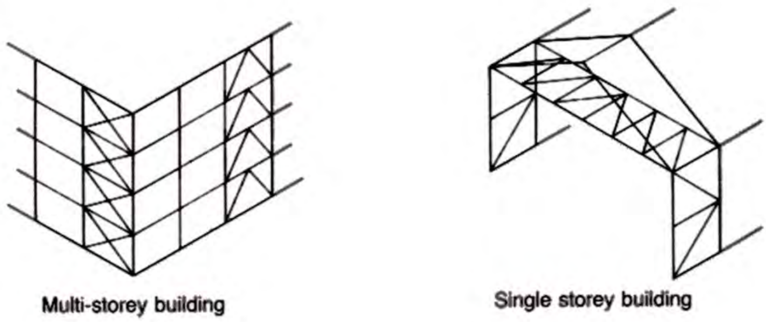


الشكل (14-1) جوائز شبكية للأسقف النهائية

ويبين الشكل (14-2) مجموعة من الجوائز الشبكية الثقيلة التي تستخدم في الأبنية متعددة الطوابق حيث يتوجب تغطية مجازات كبيرة وتحمّل حمولات ثقيلة من الأعمدة في الطابق الأعلى. كما يبين الشكل (14-3) جملتي تربيط شاقولية وأفقية في مبنيين أحدهما متعدد الطوابق والآخر صناعي حيث تم تشكيل جملتي التربيط على شكل جائز شبكي شاقولي أو أفقي وذلك لتأمين استقرار المبنيين ضد الأحمال الجانبية.



الشكل (14-2) جوائز شبكية للأحمال الثقيلة



الشكل (14-3) جمل التربيط

14-2 الأحمال وتحليل الجوائز الشبكية Loading and analysis

تتعرض الجوائز الشبكية إلى الأحمال التي تم شرحها في الفصل الثاني عشر من ميتة وحية وأحمال رياح ويجب أخذ تراكيات هذه الأحمال بعد تصعيدها بعوامل الأمان المناسبة وفقاً للجدول (2-1) وذلك للتوصل إلى حالة التحميل الأسوأ التي تحكم التصميم. تُنقَل الأحمال إلى الجائز الشبكي من عناصر أخرى كالجوائز الثانوية ويكون الوضع مثالياً إذا تم ذلك عند عقد الجائز الشبكي، ولكن في الحالة العامة لا يكون ذلك ممكناً فمثلاً الجوائز الشبكية المستخدمة في الأسقف النهائية لايكون توضع الجوائز الثانوية معروفاً بدقة منذ البداية كما أن عمليات الصيانة المستقبلية قد تقتضي تغيير مواقع هذه الجوائز ولهذا يتم اختيار مواقع الأحمال على الجائز الشبكي بشكل عشوائي بحيث تعطي الحالة الإجهادية الأسوأ. ولهذا يشتمل تحليل الجائز الشبكي على المراحل التالية:

1) تحليل الجائز الشبكي بافتراض أن عقده مفاصل (عدا الفيرانديل) وأن الأحمال مطبّقة في العقد ويتم التحليل عدة مرات للأخذ بالحسبان التوضعات المختلفة للأحمال الميتة والحية والرياح.

2) تحليل العناصر الحاملة الرئيسية كالوتر العلوي كجائز مستمر مستند على العقد ومحمّل بردود أفعال الجوائز الثانوية. وعندما لا يكون موضع الجوائز الثانوية محدداً بدقة يُصمَّم الوتر العلوي على عزم قدره $W L/6$ إضافة للأحمال المحورية حيث W رد فعل الجائز الثانوي و L المجاز الأفقي بين عقدتين.

3) تقدير الإجهادات الناتجة عن لامركزية الوصلات حيث يجب تصميم العناصر والوصلات بأخذ اللامركزية الناتجة عن عدم تلاقي محاور العناصر في العقد بالحسبان.

3 - 14 نحافة العناصر Slenderness of members

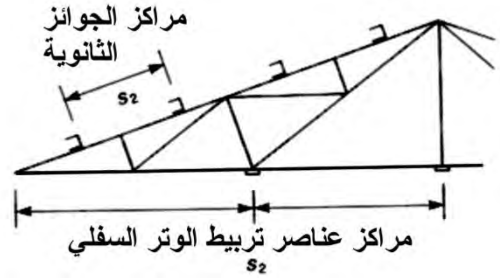
تُحدَّد نحافة كل من عناصر الجائز الشبكي بالنسبة بين طوله الفعّال ونصف قطر عطالته حول المحور الذي يدرس حوله التحنيب وتُحدَّد وفق التالي:

1) تُحدَّد نسبة نحافة عناصر الجسد وفق الجدول (7-1) إذا تشكلت هذه العناصر من زوايا أو مجاري أو مقاطع T.

2) تُحدَّد نسبة نحافة عناصر الوترين السفلي والعلوي وفق الجدول (7-1) إذا تشكلت هذه العناصر من زوايا أو مجاري أو مقاطع T وتقارن مع نسبة النحافة المحسوبة على أساس قسمة البعد بين عناصر السند الجانبي s_2 على نصف قطر العطالة الأصغري $s_2 / r_{\min}$ ويؤخذ الأكبر. انظر الشكل (14-4).

3) تُحدَّد نسبة نحافة عناصر الجائز الشبكي وفق الجدول (4-4) إذا كانت مشكّلة من العناصر خلافاً للبندين السابقين.

وفي كل الأحوال يجب أن لاتقل نسبة نحافة عناصر الوترين السفلي والعلوي في مستوي الجائز الشبكي عن /50/ وأن لاتقل نسبة نحافة عناصر الجسد في مستوي الشكل عن /100/ وذلك لإهمال الإجهادات الثانوية.



الشكل (14-4) جائز شبكي

14 - 4 طاقة تحمّل العناصر على الشد Tension capacity

تُحدَّد طاقة تحمل أي عنصر على الشد وفقاً للفقرة (3-2) بالعلاقة التالية

$$P_t = A_e\, p_y \qquad (14\text{-}1)$$

حيث: p_y المقاومة التصميمية وتحدد من الجدول (2-1)

A_e المساحة الفعالة لمقطع العنصر وتحدد كما في الفقرة (3-2)

يجب أخذ تأثير اللامركز الناتجة عن وصلتي العنصر بالحسبان كما جاء في الفقرة (3-3)

14 - 5 طاقة تحمّل العناصر على الضغط Compression resistance

تحدد طاقة تحمل أي عنصر على الضغط وفقاً للفقرة (4-2) بالعلاقة التالية

$$P_c = A_g\, p_c \qquad (14\text{-}2)$$

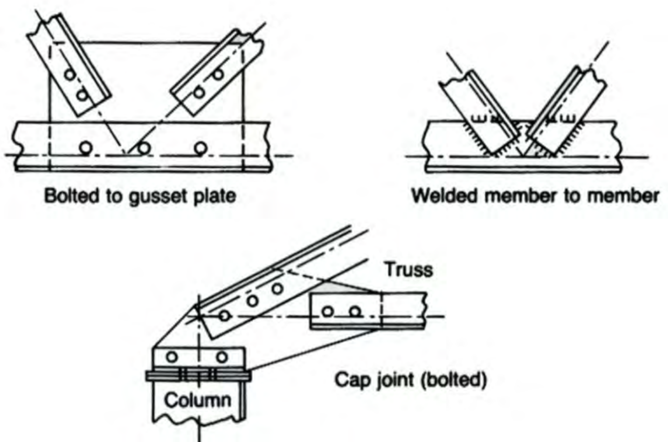
حيث: A_g مساحة المقطع العرضي كاملة

p_c مقاومة الضغط وتتعلق بنسبة النحافة λ والمقاومة التصميمية p_y وتحدد من الجداول (4 - 3a, b, c, d). وتخفض المقاومة التصميمية بـ $20N/mm^2$ عندما يكون المقطع مصنّعاً باللحام.

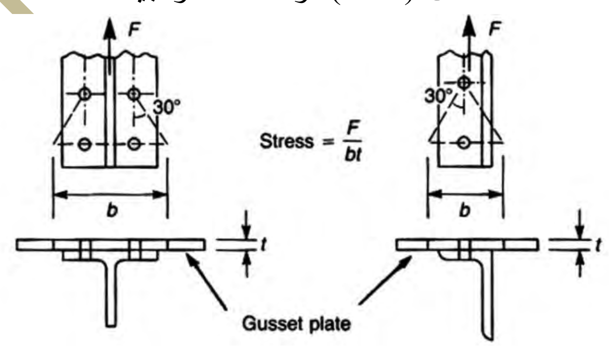
ويجب حساب طاقة تحمل العنصر وفقاً للعلاقة (4-2) إذا كان المقطع نحيفاً.

6 - 14 الوصلات Connections

الوصلات ضرورية لوصل العناصر ببعضها أو لوصل الجائز الشبكي إلى بقية الهيكل الإنشائي، ويستعمل ثلاثة أنواع رئيسية من الوصلات: وصلة براغي مع صفيحة وصل، وصلة لحام مع صفيحة وصل، ووصلة لحام عنصر إلى عنصر، انظر الشكل (5-14). يجب أن تلتقي محاور العناصر الموصولة (أو محاور صفوف براغي الوصل) في نقطة واحدة، وإذا لم يكن بالإمكانية تحقيق ذلك لابد من أخذ اللامركزية الناتجة بالحسبان عند تصميم العناصر والوصلات. ويجب تحقيق الإجهادات المباشرة المطبّقة على صفيحة الوصل وذلك بأخذ مساحة صفيحة الوصل مساوية $(b \times t)$ كما هو مبين في الشكل (6-14)



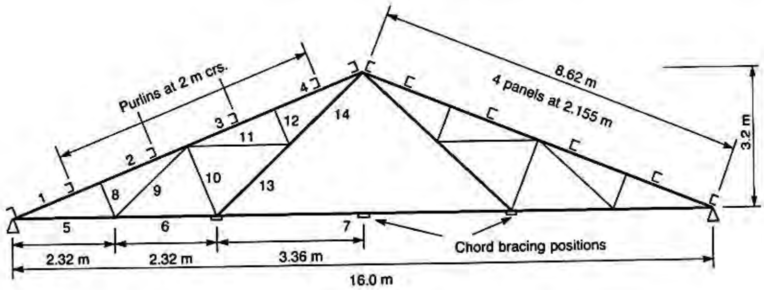
الشكل (5-14) وصلات نموذجية



الشكل (6-14) الإجهادات في صفيحة الوصل

مثال : (14-1)

يتألف الإطار الرئيسي في مبنى صناعي من جائز شبكي سنمي وعمودين مجازه 16 m كما في الشكل أدناه والتباعد بين الإطارات الرئيسية 4 m، كما أن زاوية ميل السقف 21.8° . صمم الجائز الشبكي من فولاذ S275



الحل :

* تقدير الأحمال

– أوزان طبقات التغطية $0.12\,kN/m^2$

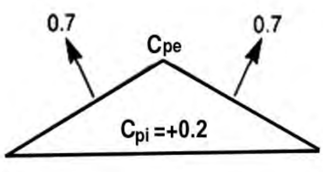
– الوزن الذاتي للجائز الشبكي $8\,kN$

– الوزن الذاتي للجوائز الثانوية $0.11\,kN/m$

– الأحمال الحية (الثلج + خدمات) $0.75\,kN/m^2$

– الضغط الديناميكي للرياح $0.68\,kN/m^2$

نتيجة دراسة أحمال الرياح تبين أن أسوأ حالة تحميل لمنشأة السقف تنشأ عندما تهب الرياح موازية لمحورالبناء وعندها يقدر معاملي الضغط الداخلي والخارجي كما هو مبين في الشكل جانباً وعليه يحسب حمل الرياح كما يلي:



$$-(0.7+0.2)\,\text{x}\,0.68=-0.61\,kN/m^2$$

– أحمال الجائز الثانوي

الحمل الميت:

من طبقات التغطية $4 \times 2 \times 0.12 = 0.96\, kN$

من الوزن الذاتي للجائز الثانوي $4 \times 0.11 = 0.44\, kN$

من الوزن الذاتي للجائز الشبكي $8/10 = 0.8\, k.N$

$2.2\, k.N$

الحمل الحي: $4 \times 2 \times 0.75 \cos 21.8^{\circ} = 5.56\, kN$

حمل الرياح: $4 \times 2 \times (-0.61) = -4.88\, kN$

- أحمال الوتر العلوي:

نوع الحمل	مقدار الحمل $(k\,N)$
الحمل الميت	$8.6 \times 2.2 / 2 = 9.48$
الحمل الحي	$8.6 \times 5.56 / 2 = 24.0$
حمل الرياح	$-8.6 \times 4.88 / 2 = -21.0$

- أحمال العقد

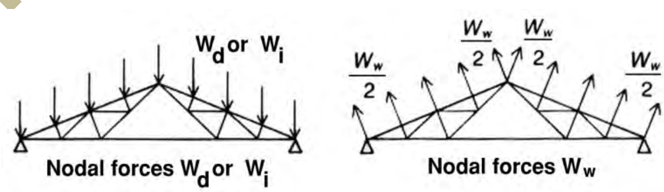
تحدد أحمال العقد بقسمة أحمال الوتر العلوي على العقد فينتج حمل العقدة الواحدة كما يلي:

الحمل الميت $W_d = 9.48 / 4 = 2.37\, kN$

الحمل الحي $W_i = 24.0 / 4 = 6.0 \;\; kN$

حمل الرياح $W_w = -21.0 / 4 = -5.25 \;\; kN$

ويبين الشكلين التاليين هذه الأحمال واتجاهاتها



* تحدد القوى في عناصر الجائز الشبكي الناتجة عن كل نوع من الأحمال وذلك بتحليله تحت تأثير أحمال العقد فتنتج القوى المبينة في الجدول التالي:

العنصر	القوى في العناصر (kN)				
	الحمل الميت F_d	الحمل الحي F_i	حمل رياح F_w	$1.4F_d$ $+1.6F_i$	$1.0F_d$ $+1.4F_w$
1	22.4	56.6	- 46.7	121.9	- 43.0
2	21.4	54.3	- 46.7	116.8	- 44.0
3	20.6	52.1	- 46.7	112.2	- 44.8
4	19.7	49.9	- 46.7	107.4	- 45.7
5	- 20.7	- 52.5	42.8	- 113.0	39.2
6	- 17.8	- 45.0	35.4	- 96.9	31.8
7	- 11.9	- 30.0	20.7	- 64.7	17.1
8	2.2	5.6	- 5.3	12.0	- 5.2
9	- 3.0	- 7.5	6.8	- 16.2	6.5
10	4.4	11.1	- 10.5	23.9	- 10.3
11	- 2.9	- 7.4	6.8	- 15.9	6.6
12	2.2	5.6	- 5.3	12.0	- 5.2
13	- 5.9	- 15.0	16.0	- 32.3	16.5
14	- 8.9	- 22.5	22.8	- 48.5	23.0

تم اعتبار القوة الضاغطة موجبة والقوة الشاردة سالبة وتم إهمال حالتي التحميل $1.4\,F_d + 1.4\,F_W$ ، $1.2\left(F_d + F_i + F_w\right)$ لأنهما لا تؤديان إلى حالة التحميل الأسوأ.

* يحدد العزم الذي يخضع له الوتر العلوي وفقاً للفقرة (14-2) كما يلي:

$M = WL/6$

رد فعل الجائزين الثانويين $W = 1.4\,(0.96 + 0.44) + 1.6 \text{ x } 5.56 = 10.9\,kN$

المسافة الأفقية بين عقدتين $L = 2.15 \text{ x } \cos 21.8^\circ = 1.99\,m$

$\text{M} = 10.9 \text{ x } 1.99 / 6 = 3.6\,kN\,m$

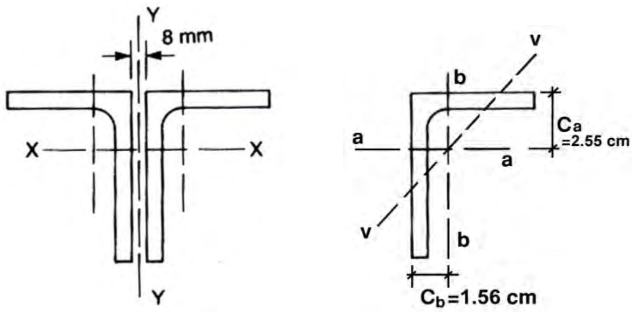
* تصميم الوتر العلوي

– تحدد قوتا الضغط F_c والشد F_t الأعظميتان اللتان يخضع لهما الوتر العلوي من الجدول أعلاه $\text{F}_c = 121.9\,kN$, $F_t = 45.7\,kN$

– الطول المحصور بين عقدتين $\text{L}_1 = 8.62 / 4 = 2.155\,m$

– نختار مقطعاً من زاويتين $2L\,80 \text{ x } 60 \text{ x } 8$ موصولتين ظهراً لظهر كما هو مبين في الشكل أدناه وبحيث يتم ربط الزاويتين ببعضهما عند منتصف وربع الطول فتكون المسافة بين الروابط مساوية لـ

$L_1/4 = 2.155/4 \approx 0.54\ m$



- خصائص الزاوية الواحدة

$$A_1 = 10.6\ cm^2\ ,\ I_a = 65.8\ cm^4,\ \ I_b = 31.5\ cm^4\ ,$$
$$I_v = 17.1\ cm^4,\ Z_a = 12.1\ cm^3\ ,\ Z_b = 7.09\ cm^3,$$
$$r_a = 2.49\ cm\ \ ,\ r_b = 1.72\ cm,\ \ r_v = 1.27\ cm$$

- خصائص المقطع المجمع

$$A = 2A_1 = 21.2\ cm^3\ , I_x = 2I_a = 131.6\ cm^4, Z_x = 24.2\ cm^3$$
$$I_y = 2\left[I_b + A_1(c_b + 0.4)^2\right]$$
$$= 2\left[31.5 + 10.6(1.56 + 0.4)^2\right] = 144.44\ cm^4$$
$$r_x = 2.49\ cm\ ,\ r_y = (I_y / A)^{1/2} = 2.61\ cm$$

- بما أن ماركة الفولاذ المستخدم S275 وأن سماكة الزاوية

الجدول (2-1) $\quad$ $t = 8\ mm < 16$ فإن $\quad p_y = 275\ ,\ \varepsilon = (275/p_y)^{1/2} = 1$

- المقطع نصف مدمج لأن

الجدول (2-2) $\quad$ $b/t = 80/8 = 10\ <\ 15\varepsilon = 15$

$(b+d)/t = (80+60)/8 = 17.5\ <\ 24\,\varepsilon$

- لتحقيق طاقة تحمل الوتر العلوي موضعياً يجب أن تتحقق علاقة الترابط التالية:

العلاقة (8-1)

$$\frac{F_c}{A_g\ p_y} + \frac{M_x}{M_{cx}} \le 1$$

$F = F_c = 121.9\,kN \;,\; M_x = 3.6\,kN\,m$

$M_{cx} = p_y Z_x = 275 \text{ x } 24.2 \text{ x } 10^{-3} = 6.655\,kN\,m$

نعوض في العلاقة السابقة فينتج

$$\frac{121.9}{21.2 \text{ x } 275 \text{ x } 10^{-1}} + \frac{3.6}{6.655} = 0.71 < 1 \qquad o.k.$$

- لتحقيق التحنيب الكلي للوتر العلوي لابد من تحقيق علاقة الترابط التالية:

العلاقة (8-4)

$$\frac{F_c}{A_g\, p_c} + \frac{m_{LT} M_x}{M_b} \le 1$$

تحدد نسبة النحافة باعتبار أن وصل عناصر الوتر العلوي مع صفائح الوصل غير معروف مسبقاً لذا سنفترض الأسوأ بحيث يتم الوصل ببرغي واحد بين كل زاوية وصفيحة الوصل، وعليه تحسب نسب النحافة كما يلي:

الجدول (7-1)

إما $\lambda_x = L_1 / r_x = 215.5 / 2.49 = 86$

أو $\lambda_x = 0.7 L_1 / r_x + 30 = 90$

إذاً $\lambda_x = 90 > \lambda_{min} = 50$

وعلى فرض أن أي من الزاويتين المشكّلتين للمقطع يمكن أن تحنب بمفردها بين نقطتي ربط حول محورها الضعيف فنجد نسبة نحافة الزاوية الواحدة $\lambda_c = (L\ /4)/r_v = 54/1.27 = 42$

فتحسب نسبة نحافة العنصر المجمع من زاويتين حول المحور y كما يلي:

الجدول (7-1)

$$\lambda_y = \left[(L_1 / r_y)^2 + \lambda_c^2 \right]^{1/2} = \left[(215.5/2.6)^2 + 42^2 \right]^{1/2} = 92$$

$$\lambda_y = 92 > 1.4\,\lambda_c = 59$$

بالعودة إلى الجدول (4-2) يتبين أن مقاومة الضغط تحدد من الجدول (4-3c) بدلالة p_y و λ_y فنجد: $p_c = 139\ \ N/mm^2$

يحدد العزم المقاوم لتحنيب الفتل الجانبي M_b بتطبيق العلاقة (5-17)

لأن المقطع مؤلف من زوايا و $b/t < 15\varepsilon$ وبناءً على ذلك نجد:

$$M_b = 0.8\, p_y Z_x = 0.8 \text{ x } 275 \text{ x } 24.2 \text{ x } 10^{-3} = 5.35 \text{ kN m}$$

من الجدول (5-6) نجد $\left(m_{LT} = 0.85\right)$

نعوض في علاقة الترابط فنجد:

$$\frac{121.9}{139 \text{ x } 21.2 \text{ x } 10^{-1}} + \frac{0.85 \text{ x } 3.36}{5.35} = 0.95 < 1$$

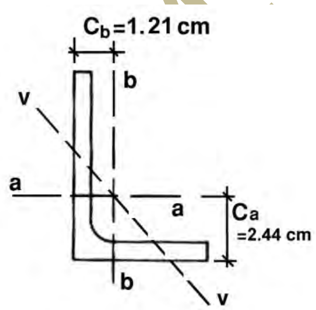
* تصميم الوتر السفلي

- تحدد قوتا الضغط F_c والشد F_t الأعظميتان اللتان يخضع لهما الوتر السفلي من جدول القوى في العناصر أعلاه فنجد:

$$F_c = 39.2\, kN \quad , \quad F_t = 113.0\, kN$$

نختار مقطعاً من زاويتين $2L\, 75 \text{ x } 50 \text{ x } 6$ موصولتين ظهراً لظهر كما هو مبين في الشكل أدناه وبحيث يتم ربط الزاويتين ببعضهما عند منتصف العنصر وعلى بعد 45 cm (تسع مرات طول الساق الصغرى للزاوية) من العقدة فتكون المسافة القصوى بين الروابط:

$$s_1 = 0.5L - 45 = 0.5 \text{ x } 232 - 45 = 71\, cm$$



- خصائص الزاوية الواحدة

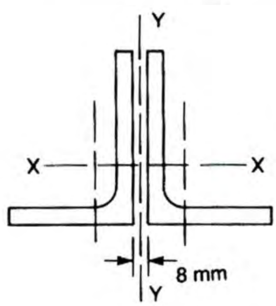
$$A_1 = 7.22\, cm^2 \;,\; I_a = 40.9\, cm^4$$

$$I_b = 14.6\, cm^4 \;,\; I_v = 8.48\, cm^4$$

$$r_x = 2.38\, cm \;,\; r_y = 1.42\, cm$$

$$r_v = 1.08\, cm$$

$$Z_a = 8.1\, cm^3 \;,\; Z_b = 3.87\, cm^3$$



- خصائص المقطع المجمع

$A = 2A_1 = 14.44\,cm^3$, $I_x = 2I_a = 81.8\,cm^4$

$Z_x = 2Z_a = 16.2$, $r_x = r_a = 2.38$

$I_y = 2\left[14.6 + 7.22\,(1.21 + 0.4)^2\right] = 66.63\,cm^4$

$r_y = (66.63/14.44)^{1/2} = 2.15\,cm$

- على فرض أنه تم وصل العناصر إلى العقد بوصلات براغي وأن قطر الثقب المعد للبرغي الواحد هو 20 mm فتحسب المساحة المكافئة للعنصر كما يلي: الفقرة (3-3)

$a_1 = 75\text{ x}6 = 450\,mm^2$

$a_2 = A_g - a_1 = 722 - 450 = 272\,mm^2$

$a_{1n} = (75 - 22) \times 6 = 318\,mm^2$

$a_{1e} = k_e \times a_{1n} = 1.2 \times 306 = 381.6 mm^2$

$A_e = 2(381.6 + 272) = 1307.2\,mm^2 < A_g = 1444 mm^2$

- تحسب طاقة تحمل الشد وفق العلاقة التالية: العلاقة (3-6)

$P_t = (A_e\text{ - }0.25\text{a}_2)\,p_y = (1307.2 - 0.25 \times 2 \times 272) \times 275 \times 10^{-3}$

$= 322 kN > F_t = 113 kN \quad ok$

- تحدد نسبة النحافة باعتبار أن وصل العنصر مع صفيحة الوصل يتم ببرغي واحد وعليه تحسب نسبة النحافة كما يلي: الجدول (7-1)

إما $\lambda_x = L/r_x = 232/2.38 = 97.5$

أو $\lambda_x = 0.7L/r_x + 30 = 98$

إذاً $\lambda_x = 98 > \lambda_{\min} = 50$

وعلى فرض أن أي من الزاويتين المشكِّلتين للمقطع يمكن أن تحنب بمفردها بين نقطتي ربط حول محورها الضعيف فتحسب نسبة نحافة الزاوية كما يلي: $\lambda_c = s_1/r_v = 71/1.08 = 65.7$

ويفرض أنه تم استخدام عناصر تربيط للوتر السفلي كما في الشكل التوضيحي للجائز الشبكي أعلاه فنجد أن المسافة القصوى بين قضيبي

تـربيط هـي $s_2 = 4.64\, m$ فتحـدد نسـبة النحافـة حـول المحـور y كمـا يلـي:

$$\lambda_y = \left[(s_2 / r_y)^2 + \lambda_c^2 \right]^{1/2} = \left[(464/2.15)^2 + (65.7)^2 \right]^{1/2} = 225$$

$$\lambda_y = 225 < \lambda_{max} = 250$$

- بالعودة إلى الجدول (4-2) نجد أن مقاومة الضغط تحدد من الجدول (4-3c) بدلالة p_y و λ_y فنجد: $p_c = 33\ N/mm^2$

ومنه تحدد طاقة تحمل العنصر على الضغط كما يلي:

العلاقة (4-1) $P_c = A_g\, p_c = 14.44 \times 33 \times 10^{-1} = 47.6\, kN > F_c = 39.2\, kN \quad o.k.$

* تصميم أحد عناصر الجسد (العنصر رقم 10)

نجد من جدول القوى أعلاه قوتي الضغط والشد الأعظميتين كما يلي:

$$F_c = 23.9\ kN\ ,\ F_t = -10.3\ kN$$

- نختار مقطعاً من زاوية واحدة $L\, 60 \times 60 \times 6$ خصائصها الهندسية كما يلي:

$$A = 6.95\ cm^2\ ,\ I_a = I_b = 23.2\ cm^4\ ,\ I_v = 9.64\ cm^4$$

$$Z_x = Z_y = 5.39\ cm^3\ ,\ r_x = r_y = 1.83\ cm\ ,\ r_v = 1.18\ cm$$

بما أن $t = 6 < 16\, mm$ فإن $p_y = 275\, ,\, \varepsilon = (275/p_y)^{1/2} = 1$

- المقطع نصف مدمج لأن $b/T = 60/6 = 10 > 15\varepsilon$

$$(b+d)/T = (60+60)/6 = 20 < 24\,\varepsilon$$

- تحديد نسبة نحافة العنصر:

لعدم المعرفة المسبقة بتصميم الوصلة نفرض أن العنصر موصول بكل من طرفيه إلى صفيحة وصل ببرغي واحد وعليه تحدد نسبة النحافة كما يلي:

الجدول 7-1

إما $\lambda_v = 1.0\, L_v / r_v = 1.0 \times 172/1.18 = 146$

أو $\lambda_v = 0.7\, L_v / r_v + 15 = 0.7 \times 172/1.18 = 117$

$$\Rightarrow \lambda_v = 146$$

إما $\lambda_a = \lambda_b = 1.0\, L_a / r_a = 1.0 \text{ x } 172 / 1.83 = 94$

أو $\lambda_a = \lambda_b = 0.7\, L_a / r_a + 30 = 0.7 \text{ x } 172 / 1.83 + 30 = 96$

$$\Rightarrow \lambda_a = 96$$

إذاً $\lambda = 146$

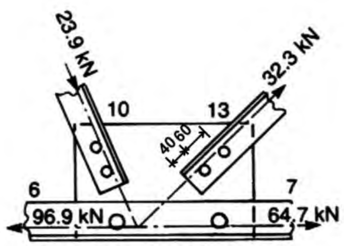
- بالعودة إلى الجدول (4-2) نجد أنه لتحديد مقاومة الضغط يجب العودة إلى الجدول (4-3c) فنجد $p_c = 71\, N/mm^2$
- تحدد طاقة تحمّل العنصر على الضغط بتطبيق العلاقة التالية:

$$P_c = A_g\, p_c = 6.95 \text{ x } 71 \text{ x } 10^{-1} = 49.3\, kN > F_c \quad o.k.$$ العلاقة 4-1

- وبما أن قوة الشد صغيرة بالمقارنة مع قوة الضغط فالمقطع أيضاً محقق على الشد.

* تصميم وصلة نموذجية

- لنصمم الوصلة بين العناصر $13, 10, 7, 6$ باستخدام صفيحة وصل سماكتها $8\, mm$ وبراغي سوداء قطر $20\, mm$ وماركتها 4.6 كما هو مبين في الشكل أدناه.



- لن يتم وصل العنصرين 6 و 7 في هذه الوصلة
- القوة العظمى في العنصر 13 هي: $F = 32.3\ kN$
- طاقة تحمّل برغيين على القص

$$F_s = 2\, P_s = 2 p_s\, A_s = 2 \text{ x } 160 \text{ x } 245 \text{ x } 10^{-3} = 78.4\ kN$$ العلاقة 10-1

- طاقة الدهس لبرغيين

العلاقة 10-5a	$F_{bb} = 2P_{bb} = 2dt\ p_{bb} = 2 \text{ x } 20 \text{ x } 6 \text{x } 460 \text{ x } 10^{-3} = 110.4\ kN$ – طاقة الدهس للصفيحة
العلاقة 10-5b	$F_{bs} = 2P_{bs} = 2 \text{ x } 2dt\ p_{bs} = 2 \text{ x } 20 \text{ x } 6 \text{ x } 460 \text{ x } 10^{-3} = 110\ kN$ $F_{bs} \le et\ p_{bs} / 2 = 40 \text{ x } 6 \text{ x } 460 \text{ x } 10^{-3} / 2 = 55.2\ kN$ إذاً طاقة تحمّل مجموعة البرغيين تحدد بـ $F_{bs} = 55.2\ kN > 32.3\ kN \qquad o.k.$ – تحقيق صفيحة الوصل: تحدد إجهادات الشد في صفيحة الوصل كما جاء في الفقرة (6-14) والشكل (6-14) $\left.\begin{array}{l} \sigma_t = \dfrac{F}{bt} \\ b = 60 / \cos 30^\circ - 22 = 47mm \end{array}\right\} \Rightarrow \sigma_t = \dfrac{32.3 \text{x} 10^3}{47 \text{ x } 6} = 115 N/mm^2$ إذاً $\sigma_t = 115\ N/mm < p_y = 275\ N/mm^2 \qquad o.k.$ * تصمم بقية عناصر الجائز الشبكي بنفس الطريقة ويجب الانتباه إلى أنه ليس عملياً اختيار مقطع لكل عنصر ويفضل أن لايزيد عدد أنواع المقاطع المختارة على أربعة.

الفصل الخامس عشر

جمل التربيط

Bracing systems

15 - 1 مقدمة

تتألف جمل التربيط عادةً من مقاطع فولاذية بسيطة مثل مبسطات أو زوايا أو مقاطع مفرغة ويتم ترتيب هذه العناصر لتشكل جوائز شبكية كما في الشكل (3-14). وفي أغلب الأحيان تُرتَّب العناصر بشكل متصالب لكي تصمم لتتحمل قوى شد فقط.

تخضع جمل التربيط إلى قوى أفقية ناتجة عن عدد من المصادر مثل:

- أحمال الرياح وأحمال الروافع التي تؤثر أفقياً على المنشأ.
- أحمال الهزات الأرضية: غالباً أحمال ساكنة أفقية مكافئة.
- قوى ناتجة عن التقييد الجانبي للأعمدة والجوائز.
- قوى افتراضية لتحقيق الاستقرار الجانبي للمنشأ.
- قوى مؤقتة ناتجة عن أعمال التنفيذ.

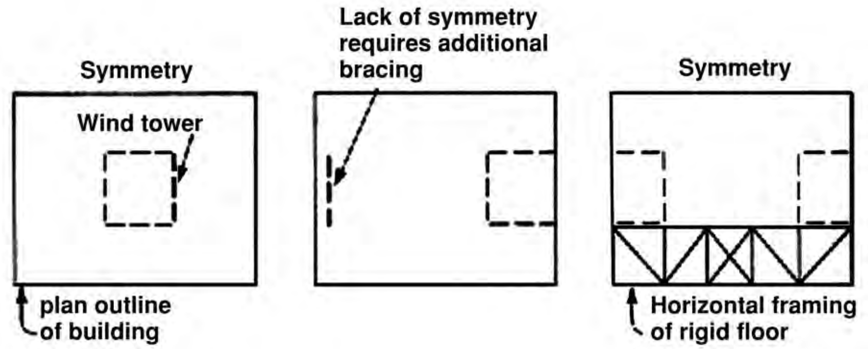
يجب أن يمتلك المنشأ الصلابة الكافية ضد الانزياح الجانبي لتُؤمَّن مقاومة قوى الرياح الأفقية، وكحد أدنى يجب تصميم المنشأ لمقاومة الأحمال الأفقية الافتراضية المنصوص عليها في الفقرة (2-1-1)

15 – 2 تربيط الأبنية متعددة الطوابق Multi–storey bracing

يتم مقاومة القوى الأفقية في الأبنية متعددة الطوابق بـ :

- تصميم عقد الإطارات كعقد صلبة قادرة على تحمل العزوم المطبّقة وبالتالي تحليل الإطارات وفقاً لذلك.
- تأمين جدران قص خرسانية لتقاوم القوى الأفقية مثل جدران بيت الدرج أو جدران بئر المصعد.
- تأمين إطارات تربيط من العناصر الفولاذية كما في الشكل (3-14).

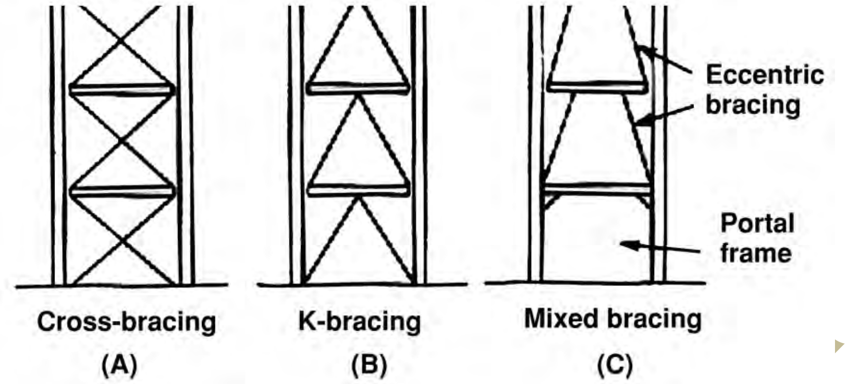
يتطلب اختيار مواقع شبكات التربيط أو جدران القص الخرسانية عناية خاصة حيث يفضل التوضع المتناظر لتجنب خضوع جملة التربيط إلى عزوم فتل، ويبين الشكل (15-1) ثلاثة بدائل.



الشكل (15-1) مواقع جمل التربيط

يجب تأمين عمل إطاري أفقي في مستوي الطوابق لينقل الأحمال الأفقية إلى جمل التربيط الشاقولية فمثلاً تنتقل أحمال الرياح الأفقية بواسطة التغطية إلى أرضية الطوابق ومنها إلى جمل التربيط الشاقولية ولهذا يجب أن يؤمن التصميم إطارات أفقية في مستوي أرضية الطوابق لتنقل هذه الأحمال إلى جمل التربيط الشاقولية. وعندما تتكون أرضيات الطوابق من بلاطات خرسانية لا حاجة لأي إطارات أفقية لأنها تتصرف كألواح صلبة في مستويها وتفي بغرض نقل الأحمال الأفقية إلى جمل التربيط الشاقولية.

تأخذ إطارات التربيط أشكالاً عدة كما هو مبين في الشكل (15-2)، على الرغم من أن التربيط المتصالب يسمح بتصميم عناصر التربيط على تحمل قوى شادة فقط إلا أنه يعيق فتح الأبواب و النوافذ والبديلان المبينان في الشكلين (15-2b,c) يسمحان بوجود الفتحات لكن يمكن أن تتعرض عناصرهما إلى ضغط. ولذلك عند تصميم هذه العناصر يجب أن تكون نسبة نحافتها أقل ما يمكن.

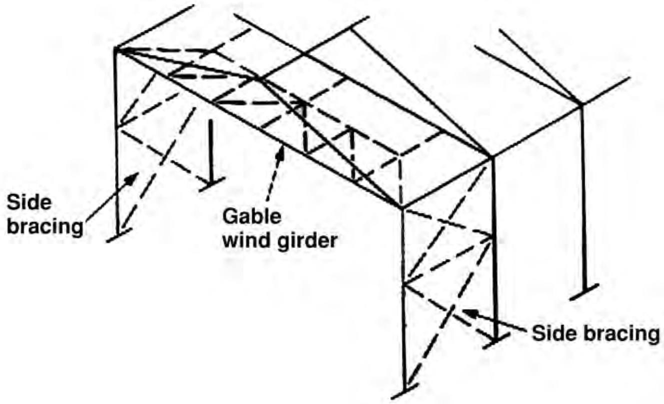


الشكل (15-2) إطارات التربيط الشاقولية

3 - 15 تربيط الأبنية وحيدة الطابق Single–storey bracing

تصمم جمل التربيط في الأبنية وحيدة الطابق لتقاوم أحمال الرياح وأحمال الروافع الموازية لمحور البناء (المتعامدة مع مستوي الإطارات الرئيسية). أما أحمال الرياح وأحمال الروافع الموازية لمستوي الإطارات الرئيسية فتقاوَم بالفعل الإطاري أو بالأعمدة فقط إذا كانت تعمل كأظفار ولهذا لا حاجة لجمل تربيط في مستوي الإطارات الرئيسية. إذاً يجب تأمين جمل تربيط كالمبينة في الشكل (3-14) لتقاوم أحمال الروافع الطولية والأحمال الناتجة عن الرياح (ضغط أو سحب) على الواجهتين السنميتين (الجانبيتين) وكذلك الناتجة عن احتكاك الرياح مع الواجهتين الرئيسيتين ومع سقف البناء. وبناءً على ذلك يجب تأمين شبكة تربيط أفقية (جائز رياح) عند كل من نهايتي البناء إما في مستوي الوتر العلوي عندما تكون زاوية ميل السقف صغيرة أو في مستوي الركبة كما هو مبين في الشكل (3-15) ويتم سند جائز الرياح بشبكة التربيط الشاقولية التي تتحمل أيضاً القوى الطولية الناتجة عن فرملة الروافع.

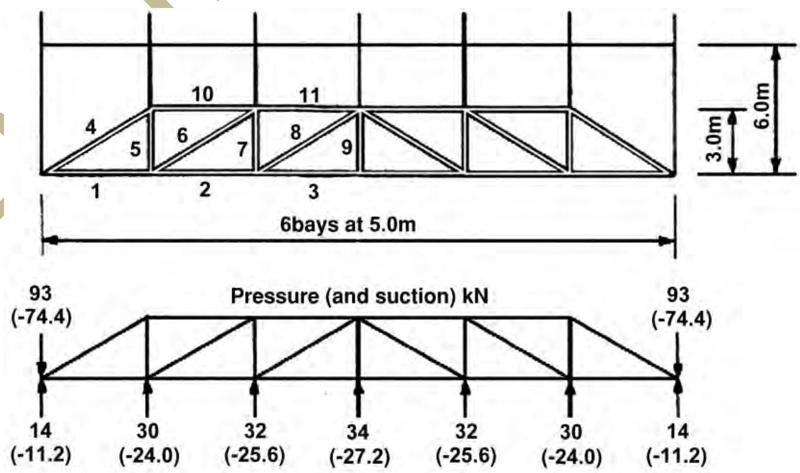
يحتاج وتر الجائز الشبكي السفلي كذلك إلى تربيط لتقييده جانبياً ومنعه من التحنيب عندما تنقلب القوى فيه من شد إلى ضغط نتيجة أحمال الرياح على السقف.



الشكل (15-3) جائز الرياح

مثال: (15-1)

صمم جائز الرياح المبين في الشكل أدناه من فولاذ ماركته S275 علماً أن المسافة بين الإطارات الرئيسية 6.0m وأن ارتفاع الركبة m 12.5 وأن المسافة بين الأعمدة في الواجهة الجانبية (أعمدة الرياح) التي تنقل أحمال الرياح إلى جائز الرياح 5.0m . كما أن ردود أفعال أعمدة الرياح (غير مصعدة) مبينة في الشكل أدناه في حالتي الضغط أو السحب (المص) على الواجهة الجانبية.



الحـــــل:

يمكن إيجاد القوى في عناصر الجائز بأي من طرق تحليل الجوائز الشبكية ويبين الجدول أدناه هذه القوى مصعدة بعامل أمان $\gamma_f = 1.4$ في كلا حالتي الضغط والسحب مع اعتبار إشارة القوى الضاغطة موجبة.

العنصر	القوى المصعدة في العناصر (kN)	
	حالة الضغط	حالة السحب
1	184	-147
2	299	-239
3	338	-270
4	-215	172
5	111	-89
6	-133	106
7	69	-55
8	-46	37
9	48	-38
10	-184	147
11	-299	239

* تصميم الوتر الخارجي:

– يتضح من الجدول أعلاه أن قوة الضغط العظمى في العنصر (3) تساوي $338\,kN$

– نختار المقطع القياسي 254 x 146 x 37 UB الذي مواصفاته كما يلي:

$$D = 256mm \;,\; B = 146.4\;mm \;,\; t = 6.4\;mm \;,\; T = 10.9\;mm$$

$$b/T = 6.72 \;, d/t = 34.2 \;, r_x = 10.8\;cm \;, r_y = 3.47cm \;, A = 47.4cm^2$$

– يحدد الطول الفعال ونسبة النحافة للعنصر (3) كما يلي:

$L_{Ex} = 0.85\,L = 0.85\ x\ 500 = 425\ cm \Rightarrow \lambda_x = L_{Ex}/r_x = 39$

$L_{Ey} = 1.0\,L = 500\ cm \Rightarrow \lambda_y = L_{Ey}/r_y = 144$

$p_y = 275\ N/mm^2\ ,\ \ \varepsilon = (275/p_y)^{1/2} = 1 \Leftarrow T = 10.9 < 16\,mm$

- المقطع ليس نحيفاً لأن

$b/T = 6.72 < 15\,\varepsilon = 15$

$d/t = 34.2 < 40\varepsilon = 40$

- بالعودة للجدول (2-4) نجد أن مقاومة الضغط p_c تحدد من الجدول (4-3b) بدلالة p_y و λ_y فنجد: $p_c = 80\ N/mm^2$

- تحسب قوة تحمّل المقطع على الضغط كما يلي:

الجدول (4-4)

$P_c = A_g\ p_c = 47.4 \times 100 \times 80 \times 10^{-3} = 379.0\ kN > 338\,kN\ \ o.k.$

الجدول (2-1)

* تصميم الوتر الداخلي

- يتضح من جدول القوى أن قوة الضغط العظمى في العنصر (11) تساوي *239 kN*

الجدول (2-2)

- نختار المقطع القياسي $203 \times 133 \times 30\,UB$ ذي المواصفات التالية:

$D = 206.7\ mm\ ,\ B = 134\ mm\ ,\ t = 6.3\ mm\ ,\ T = 9.6\ mm$

$b/T = 6.72\ , d/t = 27.3\ , r_x = 8.71\ cm\ , r_y = 3.18\ cm\ , A = 38\ cm^2$

- يحدد الطول الفعال ونسبة النحافة للعنصر (11) كما يلي:

العلاقة (4-1)

$L_{Ex} = 0.85\,L = 0.85\ x\ 500 = 425\ cm \Rightarrow \lambda_x = L_{Ex}/r_x = 48.8$

$L_{Ey} = 1.0\,L = 1.0 \times 500 = 500\ cm \Rightarrow \lambda_y = L_{Ey}/r_y = 157$

$p_y = 275\ N/mm^2\ ,\ \ \varepsilon = (275/p_y)^{1/2} = 1.0 \Leftarrow T = 9.6 < 16\,mm$

- المقطع ليس نحيفاً لأن

$b/T = 6.97 < 15\,\varepsilon = 15$

$d/t = 9.6 < 40\,\varepsilon = 40$

- بالعودة للجدول (2-4) نجد أن مقاومة الضغط p_c تحدد من الجدول (4-3b) بدلالة p_y و λ_y فنجد: $p_c = 68\ N/mm^2$

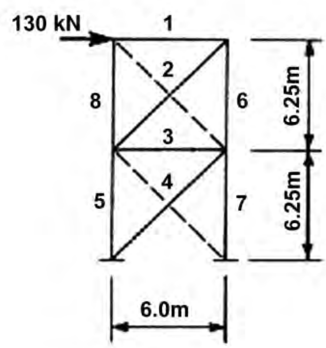
- تحسب قوة تحمّل المقطع على الضغط كما يلي:

$P_c = A_g\ p_c = 38 \times 100 \times 68 \times 10^{-3} = 258\ \ kN > 239\,kN\ \ \ o.k.$

- على فرض أنه سيتم وصل العنصر (11) مع العنصر المجاور له بواصلة براغي تستخدم برغيين في كل جناح وبرغيين في الجسد وأن قطر الثقب المنفذ لكل برغي يساوي 26 mm فإن المساحة الصافية للمقطع تساوي:	الفقرة (3-2)
$A_{net} = 38 - (4 \text{ x } 2.6 \text{ x } 0.96 + 2 \text{ x } 2.6 \text{ x } 0.63) = 24.74\ cm^2$	
- ومنه تحسب المساحة الفعالة كما يلي:	
$A_e = 1.2\ A_{net} = 1.2 \text{ x } 24.74 = 29.7\ cm^2 < A = 38\ cm^2$	
فتحسب طاقة تحمل العنصر على الشد كما يلي:	العلاقة (3-1)
$P_t = A_e\ p_y = 29.7 \text{ x } 100 \text{ x } 275 \text{ x } 10^{-3} = 816\ kN > 299\ kN \quad o.k.$	
* تصميم العنصر القطري (4)	
- يتضح من جدول القوى أن قوة الضغط العظمى تساوي *172 kN* وأن قوة الشد العظمى *215 kN*	
- نختار المقطع القياسي $203 \text{ x } 133 \text{ x } 30\, UB$ مماثل لمقطع الوتر الداخلي	
- يحدد الطول الفعال ونسبة النحافة العظمى كما يلي:	
$L_{Ey} = 1.0\ L = 1.0 \text{ x } 583 = 583\ cm \Rightarrow \lambda_y = L_{Ey} / r_y = 183$	الجدول (4-4)
- بالعودة للجدول (4-2) نجد أن مقاومة الضغط p_c تحدد من الجدول (4-3b) بدلالة λ_y , p_y فنجد : $p_c = 52\ N/mm^2$	
- تحسب قوة تحمل المقطع على الضغط كما يلي:	
$P_c = A_g\ p_c = 38 \text{ x } 100 \text{ x } 52 \text{ x } 10^{-3} = 197.6\ kN > 172\ kN \quad o.k.$	
- كما أن طاقة تحمل العنصر على الشد تساوي *816 kN* أكبر من القوة المطبّقة *215 kN*	
- نستعمل المقطع $203 \text{ x } 133 \text{ x } 30\, UB$ في كافة العناصر القطرية فتكون محققة.	

مثال: (15-2)

صمم شبكة التربيط الشاقولية التي تسند جائز الرياح في المثال السابق من فولاذ ماركته S275 مع العلم أن رد فعل جائز الرياح $93\ kN$ وأن الحمل الطولي الناتج عن فرملة الرافعة $12.0\ kN$. يبين الشكل أدناه شبكة التربيط الشاقولية.



الحل:

* هناك حالتي تحميل :

إما $F = 1.4 \times 93 = 130\ \ kN$

أو $F = 1.2 \times 93 + 1.2 \times 12 = 126\ \ kN$

إذاً نصمم من أجل $F = 130\ \ kN$

يبين الجدول أدناه القوى المصعدة في عناصر جملة التربيط (الضغط موجب)

العنصر	1	2	3	4	5	6	7	8
القوة (kN)	130	- 188	130	- 188	- 135	135	270	0

يجب الانتباه إلى أنه تم استخدام عناصر قطرية متصالبة لتعمل على الشد فقط.

* تصميم العنصرين القطريين (2) و (4)

	– يتضح من جدول القوى أن قوة الشد المطبّقة $F_t = 188\ kN$
	– نستخدم مقطع زاوية منفردة 100 x 65 x 7 موصولة بساقها الطويل ببرغي إلى عقد جملة التربيط وأن قطر الثقب المعدّ للبرغي $22\,mm$
	$p_y = 275\,N/mm^2 \Leftarrow t = 7\,mm$
	– تحسب المساحة الفعالة لمقطع الزاوية كما يلي:
	$A_g = 11.2\,cm^2$
	$a_1 = 100 \text{ x } 7 = 700\ mm^2$
	$a_{1n} = 700 - 22 \text{ x } 7 = 546\ mm^2$
العلاقة (3-2)	$a_{1e} = 1.2 \times 546\ = 655.2\,mm^2 < a_1$
	$a_2 = 11.2 \times 100 - a_1 = 420\ mm^2$
	$A_e = a_{1e} + a_2 = 1075.2\ mm^2$
	– تحسب طاقة تحمل العنصر للشد كما يلي:
العلاقة (3-4)	$P_t = (A_e - 0.5a_2)\,p_y = (1075.2 - 0.5 \times 420) \times 275 \times 10^{-3}$ $= 238 kN > 188\ ok$
	* تصميم العنصر (3)
	– يتبين من جدول القوى أن العنصر يخضع إلى قوة ضغط
	$F_c = 130\ kN$
	– نختار مقطعاً قياسياً $203 \text{ x } 133 \text{ x } 25\,UB$ خواصه كما يلي:
	$D = 203.2\ mm\ ,\ B = 133.2\ mm\ ,\ t = 5.7\ mm\ ,\ T = 7.8mm$
	$b/t = 8.54\ ,\ d/t = 30.2\ ,\ r_x = 8.56\ cm\ ,\ r_y = 3.1\ cm$
	$A = 32\ cm^2$
الجدول (2-1)	$\varepsilon = (275/p_y)^2 = 1.0\,,\ p_y = 275\ N/mm^2 \Leftarrow T = 7.8\,mm < 16$
	$L_E = 1.0 \text{ x } L = 1.0 \text{ x } 600 = 600\,cm \Rightarrow \lambda_y = L_R / r_y = 194$
	– بالعودة للجدول (4-2) نجد أن مقاومة الضغط p_c تحدد من الجدول (4-3b) بدلالة p_y و λ_y فنجد : $p_c = 46\ N/mm^2$

- تحسب قوة تحمل المقطع على الضغط كما يلي: $P_c = A_g\ p_c = 32 \text{ x } 100 \text{ x } 46 \text{ x } 10^{-3} = 147\ kN > 130\ kN \quad o.k.$ * يجب أخذ القوى في جائز الركبة (1) وفي عناصر الإطار الرئيسي (5, 6, 7) بالحسبان عند تصميم هذه العناصر على الأحمال الأخرى التي تخضع لها هذه العناصر.	

الفصل السادس عشر

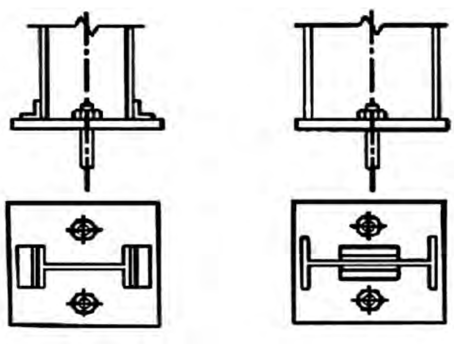
قواعد الأعمدة

Column bases

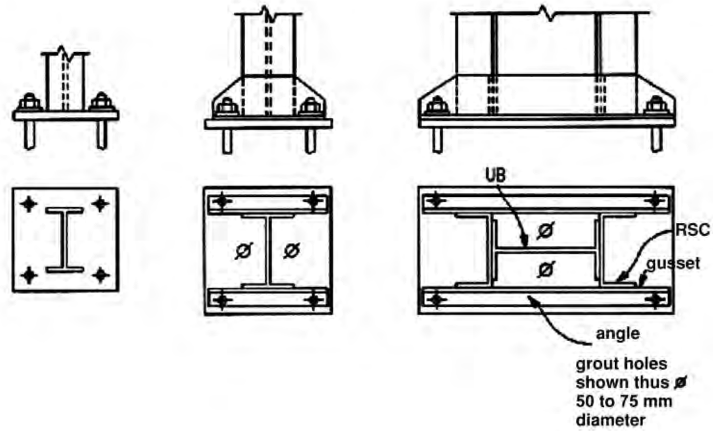
1 - 16 مقدمـة:

صـفيحة القاعـدة هـي صـفيحة فولاذيـة تُثبَّـت باللحـام فـي أسـفل العمـود لتـوزع أحمـال العمود إلـى الأسـاس الخرسـاني وتثبـت بالأسـاس بواسـطة براغـي تثبيـت تتحمـل القـص وأي قوى شـد تنشـأ بين الصـفيحة والأسـاس الخرسـاني نتيجـة العزم فـي أسفل العمـود. وعنـدما تكـون صـفيحة القاعـدة صـغيرة وكـذلك براغـي التثبيـت لا تنشـأ إعاقـة ملموسـة لحركـة أسـفل العمـود الدورانيـة ويُعتبَـر عنـدها اسـتناد العمـود مفصـلياً. وعلـى العكـس عنـدما لا يُسمَـح لقاعـدة العمـود بالـدوران تُسـمَّى القاعـدة ثابتـة (وثاقـة) علـى الـرغم مـن صـعوبة تحقيـق ذلك.

تُستخدَم القواعـد المفصـلية فـي الإطـارات البابيـة وفـي الأبنيـة متعـددة الطوابـق، أمـا القواعـد الثابتـة فتستخدم بشـكل رئيسـي فـي الإطـارات البابيـة وفـي الأبنيـة الطابقيـة قليلـة الارتفـاع وخاصـة ذات العقـد الصـلبة. ويبـين الشـكلين (16-1,2) بعـض القواعـد مـن النوعين



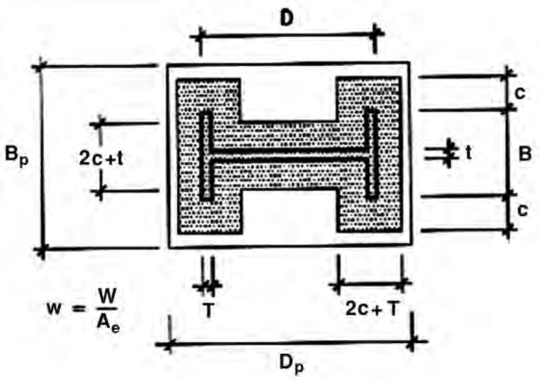
الشكل (16-1) قواعد أعمدة مفصلية نموذجية



الشكل (16-2) قواعد أعمدة ثابتة نموذجية

16 – 2 تصميم القواعد المفصلية

سنفرض أن صفيحة القاعدة ستنقل حمل العمود المحوري F إلى الأساس الخرساني بتوزيعه على مساحة فعالة A_e من سطح الاستناد الخرساني، تحدد كما في الشكل (16-3) بنشر الحمل خلال الصفيحة بعيداً عن محيط العمود بمسافة قدرها c.



الشكل (16-3) المساحة الفعالة

تحسب المساحة الفعالة A_e من الشكل (16-3) كما يلي:

$$A_e = 2\,(B+2\,c)\,(2\,c+T)+(D-2T-2c)\,(2\,c+t) \qquad (16\text{-}1)$$

حيث تُعرَّف المقادير $t,\ T,\ D,\ c,\ B$ كما في الشكل (16-3).

يتوزع الحمل F كضغط منتظم على كامل المساحة A_e ويجب أن لا يزيد هذا الضغط على مقاومة السطح الساند للصفيحة على التحمّل $f_b = 0.5\, f'_c$

حيث: f'_c المقاومة المميزة الاسطوانية للخرسانة أو المونة الاسمنتية التي تسند الصفيحة بعمر 28 يوماً.

$$w = \frac{F}{A_e} \;\leq\; 0.5\, f'_c \qquad (16\text{-}2)$$

نحصل على مسافة انتشار الحمل c بعيداً عن حدود مقطع العمود بحل العلاقتين (16-1) و (16-2) ولكن يجب الانتباه إلى أنه لا يجوز أن تتجاوز c حدود صفيحة الاستناد وأن لا يتم تداخل في أجزاء المساحة A_e

يحسب العزم المطبّق على شريحة عرضها 1 mm من صفيحة الاستناد وبارزة بطول c من وجه العمود وفق العلاقة التالية:

$$M = \frac{1}{2}\, w\, c^2 \;\leq\; p_{yp}\, Z_p \qquad (16\text{-}3)$$

حيث : p_{yp} المقاومة التصميمية لفولاذ صفيحة الاستناد، على أن لا تزيد على $270\ N/mm^2$

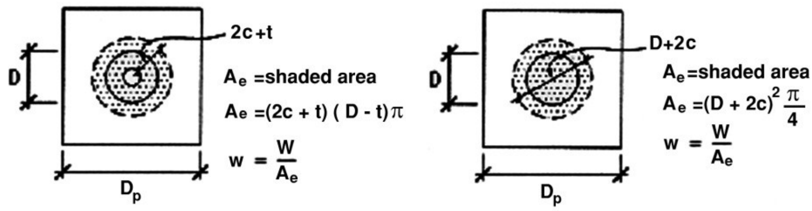
$Z_p = t_p^2/6$ معامل المقطع المرن لشريحة عرضها 1 mm من صفيحة الاستناد وسماكتها t_p

تحسب سماكة صفيحة الاستناد بتعويض Z_p في العلاقة (16-3) لينتج

$$t_p = c\left(3\, w / p_{yp}\right)^{1/2} \qquad (16\text{-}4)$$

ويجب أن لا تقل سماكة صفيحة الاستناد بحال من الأحوال عن سماكة جناح مقطع العمود.

تُطبَّق طريقة المساحة الفعالة أيضاً على المقاطع الصندوقية والأنبوبية المفرّغة، ويبين الشكل (16-4) بعض هذه المقاطع والمساحات الفعالة لصفائح القاعدة



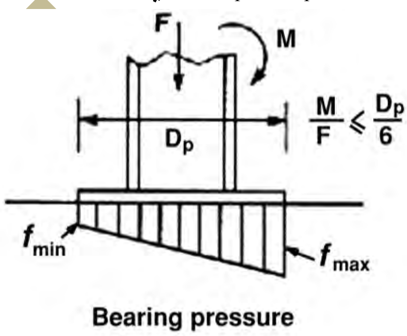
الشكل (16-4) المساحة الفعالة لصفائح استناد مقاطع مفرغة

3 – 16 تصميم القواعد المحملة لا مركزياً

تتعرض قواعد الأعمدة إلى عزوم انعطاف حول محور أو محورين متعامدين إضافة إلى القوى المحورية والقاصة وذلك عندما لا يُسمَح لقواعد الأعمدة بالدوران ونميز الحالتين التاليتين:

1- 3 - 16 الضغط موزع على كامل صفيحة القاعدة

عندما يكون العزم صغيراً بالمقارنة مع القوة الناظمية يتوزع الضغط على كامل سطح صفيحة القاعدة. ويبين الشكل (16-5) مثالاً على ذلك حيث F و M الحمل الناظمي والعزم المطبقين على القاعدة و B_p و D_p بعدي صفيحة القاعدة.



الشكل (16-5) الضغط موزع على كامل القاعدة

حتى يتعرض كامل صفيحة القاعدة إلى ضغط يجب أن يكون الضغط الأصغري أكبر أو يساوي الصفر أي:

$$f_{\min} = \frac{F}{A} - \frac{M}{Z} \geq 0 \qquad (16\text{-}5)$$

حيث : $A = B_p D_p$, $Z = B_p D_p^2/6$, $M = Fe$, e اللامركزية

وعليه تكتب العلاقة (16-5) كما يلي

$$\frac{F}{B_p D_p} - \frac{F\,e}{B_p\, D_p^2/6} \geq 0 \Rightarrow e \leq D_p/6 \qquad (16\text{-}6)$$

إذاً كي تكون صفيحة القاعدة مضغوطة بكاملها يجب أن لا تزيد اللامركزية e عن سدس طول صفيحة القاعدة.

ويجب أن لايتجاوز الضغط الأعظمي مقاومة السطح الساند للصفيحة على التحمّل $f_b = 0.5 f_c'$ حيث f_c' المقاومة المميزة الاسطوانية للخرسانة أو المونة الاسمنتية التي تسند الصفيحة عند عمر 28 يوماً.

$$f_{\max} = \frac{F}{A} + \frac{M}{Z} \leq f_b \qquad (16\text{-}7)$$

فإذا تم اختيار طول الصفيحة محققاً العلاقة (16-6) يحسب عرض الصفيحة من العلاقة (16-7).

كما تحسب سماكة الصفيحة بأخذ شريحة منها عرضها $1\ mm$ وبارزة من وجه العمود إلى طرف الصفيحة الذي يتعرض إلى الضغط $f_{\max}$. يجب أن يكون العزم المطبّق على هذه الشريحة عند وجه العمود (M_s) أصغر أو يساوي طاقة تحمّل الشريحة على العزم أي:

$$M_s \leq 1.2\, p_{yp}\, Z_p \qquad (16\text{-}8)$$

حيث:

p_{yp} المقاومة التصميمية لفولاذ صفيحة الاستناد على أن لا يزيد على $270\ N/mm^2$.

$Z_p = t_p^2/6$ معامل المقطع المرن لشريحة عرضها $1\ \ mm$ من صفيحة الاستناد وسماكتها t_p. وبناءً على ذلك تُحدَّد سماكة الصفيحة وفق العلاقة التالية:

$$t_p \geq \left(\frac{6\, M_s}{1.2\, p_{yp}} \right)^{1/2} \qquad (16\text{-}9)$$

عند تصميم لحام العمود مع صفيحة القاعدة يمكن تبني الفرضيات التالية:

* تنتقل القوة الناظمية F من العمود إلى الصفيحة مباشرةً.

* يقاوم لحام الجناحين مع الصفيحة العزم M المطبّق من العمود على الصفيحة فتحسب القوة المطبّقة على لحام كل جناح وفق العلاقة التالية:

$$F_f = M / (D - T) \qquad (16\text{-}10)$$

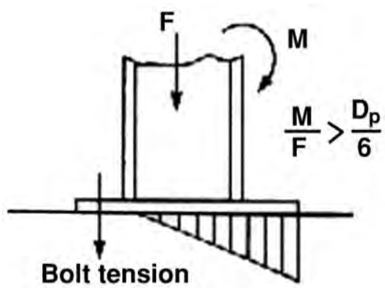
حيث D و T ارتفاع مقطع العمود وسماكة جناحه على الترتيب.

* يقاوم لحام الجسد القوة القاصة المطبّقة من العمود على الصفيحة.

أما براغي التثبيت فتحسب لتتحمل قوة القص الأفقية التي تنتقل من صفيحة القاعدة إلى أساس الخرسانة وذلك لعدم تعرضها لأية قوة شادّة.

2- 3 - 16 الضغط موزع على جزء من الصفيحة

يكون جزء من صفيحة القاعدة مضغوطاً عندما تكون اللامركزية $e = M / F$ أكبر من سدس طول القاعدة كما هو مبين في الشكل (16-6) وتتعرض براغي التثبيت في أحد طرفي القاعدة إلى قوة شادّة.



الشكل (16-6) قاعدة مضغوطة جزئياً

يوجد طريقتان لتحليل وتصميم هذا النوع من القواعد:

الطريقة الأولى:

تعتمد على فرضية التوزع الخطي للإجهادات بين صفيحة الاستناد والأساس الخرساني كما هو مبين في الشكل (16-7).

باستخدام فرضية المقاطع المستوية قبل التشوه تبقى مستوية بعد التشوه نكتب:

$$\frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_c} = \frac{d - x}{x} \qquad (16\text{-}11)$$

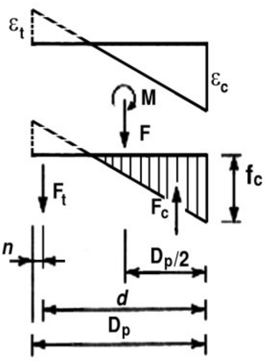
$$\varepsilon_t = f_t / E_s \;\; , \;\; \varepsilon_c = f_c / E_c$$

حيث : x ارتفاع المنطقة المضغوطة

f_c , ε_c , E_c معامل مرونة الخرسانة وتشوهها النسبي والإجهاد الأعظمي المطبق عليها.

f_t , ε_t , E_s معامل مرونة البراغي وتشوهها النسبي والإجهاد المطبق عليها.

B_p عرض الصفيحة



الشكل (16-7)

تكتب العلاقة بين إجهاد الشد في فولاذ البراغي والإجهاد الأعظمي المطبّق على الخرسانة f_c باستخدام العلاقة (16-11) كما يلي:

$$f_t = m\, f_c \frac{d - x}{x} \qquad (16\text{-}12)$$

حيث $m = E_s/E_c = 15$

تحدد القوتان اللتان تتعرض لهما الصفيحة والبراغي المشدودة بالعلاقتين التاليتين:

$$F_c = \frac{1}{2} B_p\, x f_c \qquad (16\text{-}13)$$

$$F_t = A_t f_t = m\, A_t f_c \frac{d - x}{x} \qquad (16\text{-}14)$$

تكتب معادلة التوازن الشاقولي كما يلي:

$$F = F_c - F_t = f_c \left[\frac{1}{2} B_p x - m\, A_t \frac{d - x}{x} \right] \qquad (16\text{-}15)$$

وتكتب معادلة توازن العزوم حول محور الصفيحة كما يلي

$$M = F_c\left(\frac{D_p}{2}-\frac{x}{3}\right)+F_t\left(\frac{D_p}{2}-n\right) \qquad (16\text{-}16)$$

نعوض (16-13) و (16-14) في المعادلة السابقة ينتج:

$$M = \frac{1}{2}\,B_p\,x f_c\left(\frac{D_p}{2}-\frac{x}{3}\right)+m\,A_t f_c\left(\frac{D_p}{2}-n\right)\left(\frac{d-x}{x}\right)$$

$$M = f_c\left[\frac{1}{2}\,B_p\,x\left(\frac{D_p}{2}-\frac{x}{3}\right)+m\,A_t\left(\frac{D_p}{2}-n\right)\left(\frac{d-x}{x}\right)\right] \qquad (16\text{-}17)$$

تحتوي معادلتا التوازن (16-15) و (16-17) على مجهولين $(x\,,f_c)$. بحل هاتين المعادلتين ينتج المعادلة التكعيبية التالية:

$$x^3-3\left(d\text{-}d_1\right)x^2+A_1\,x\text{-}A_1\,d\;=0 \qquad (16\text{-}18)$$

حيث: $A_1 = 6\,m\,A_t\,d_1/B_p \;\;,\;\; e = M/F \;\;,\;\; d_1 = 0.5\left(d\text{-}n\right)+e$

تحدد قيمة x بحل المعادلة (16-18) وتعوض في المعادلة (16-15) فتحدد قيمة f_c ومن ثم تحدد قيمة f_t من المعادلة (16-12) وبذلك يكون قد تحدد الضغط المطبّق على الصفيحة والشد المطبّق على البراغي اللذين يجب أن لا يتجاوزا إجهاد تحمّل الخرسانة $f_b = 0.5\,f_c'$ ومقاومة الشد في البراغي p_t على الترتيب.

تحسب سماكة صفيحة القاعدة وفقاً للعلاقة (16–9) وكذلك يحسب اللحام بين الصفيحة والعمود كما جاء في الفقرة (16–3–1).

<u>الطريقة الثانية:</u>

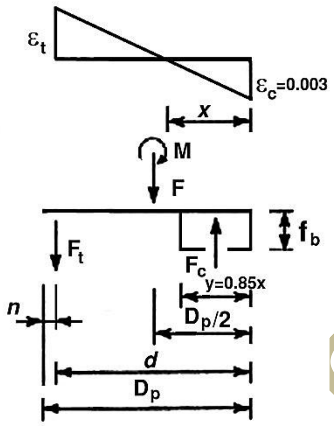
تعتمد كما في النظرية الحدية للخرسانة المسلحة على أن توزع الإجهادات بين الصفيحة والخرسانة منتظم كما هو مبين في الشكل (16-8)

باستخدام فرضية المقاطع المستوية قبل التشوه تبقى مستوية بعد التشوه نكتب:

$$\frac{x}{d}=\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c+\varepsilon_t}=\frac{0.003}{0.003+f_t\,/\,E_s}$$

نعوض $E_s = 0.2 \text{ x } 10^6 \; N/mm^2$ في العلاقة السابقة ينتج:

$$x = \frac{600}{600 + f_t} \; d \qquad (16\text{-}19)$$



الشكل (16-8)

ومنه يحدد ارتفاع منطقة الضغط كما يلي:

$$y = 0.85\, x = \frac{510}{600 + f_t}\, d \qquad (16\text{-}20)$$

تحدد القوتان اللتان تتعرض لهما الصفيحة والبراغي المشدودة بالعلاقتين التاليتين

$$F_c = B_p y \; f_b \qquad (16\text{-}21)$$

$$F_t = A_t \; f_t \qquad (16\text{-}22)$$

حيث B_p عرض صفيحة الاستناد.

تكتب معادلة التوازن الشاقولي كما يلي

$$F = F_c - F_t = B_p y f_b - A_t f_t \qquad (16\text{-}23)$$

وتكتب معادلة توازن العزوم حول محور الصفيحة كما يلي

$$M = F_c\left(\frac{D_p}{2} - \frac{y}{2}\right) + F_t\left(\frac{D_p}{2} - n\right) \qquad (16\text{-}24)$$

يُحدَّد العزم والقوة المحورية التوازنيان من شرط وصول إجهاد البيتون إلى طاقة تحمّله على الدهس (التحمّل) في اللحظة التي يصل فيها فولاذ البراغي المشدودة إلى حد

مقاومتها على الشد p_t . وبناءً عليه يحدد موقع المحور المحايد للمقطع وكذلك ارتفاع المنطقة المضغوطة بتعويض $f_t = p_t$ في العلاقتين (16- 19,20) فينتج:

$$x_b = \frac{600}{600 + p_t}\ d \ , \quad y_b = \frac{510}{600 + p_t}\ d \qquad (16\text{- }25, 26)$$

وكما هو واضح من هذه العلاقة أن x_b هو خاصة من خواص المقطع لا تتعلق بالأحمال المطبّقة.

بتبديل معطيات الشرط التوازني في العلاقة (16-23) نستنتج القوة الناظمية التوازنية التي يتحملها المقطع

$$F_b = B_p\, y_b\, f_b - A_t\, p_t \qquad (16\text{-}27)$$

وهي أيضاً خاصة من خواص المقطع لا علاقة لها بالأحمال الخارجية المطبّقة.

عندما تكون القوة المطبّقة الخارجية $F_b \geq F$ فإن ارتفاع المنطقة المضغوطة $x_b \geq x$. وبتعويض العلاقتين (16-19,25) في هذه المتراجحة ينتج أن $f_t = p_t$ أي أن إجهاد الشد في البراغي قد وصل إلى طاقة تحملها على الشد.

نعوض $f_t = p_t$ في العلاقة (16-23) فينتج ارتفاع المنطقة المضغوطة كما يلي:

$$y = \frac{1}{B_p\, f_b}\left(F + A_t\, p_t \right) \qquad (16\text{-}28)$$

ثم نعوض الناتج في العلاقة (16-24) لنستنتج العزم الذي تتحمله القاعدة أي:

$$M_u = B_p y f_b \left(\frac{D_p}{2} - \frac{y}{2} \right) + A_t\, p_t \left(\frac{D_p}{2} - n \right) \qquad (16\text{-}29)$$

يجب أن يكون M_u أكبر من العزم المطبّق الخارجي M وإلا يجب تغيير معطيات القاعدة $\left(A_t\ ,\ D_p\ ,\ B_p,\ n\right)$ كلاً أو جزءاً.

وعندما تكون القوة المطبّقة الخارجية $F_b \leq F$ فإن $x_b \leq x$ ومنه ينتج $p_t \geq f_t$ أي إن إجهاد الشد في البراغي أصغر أو يساوي طاقة تحملها على الشد ويحسب من العلاقة (16-19) التي تكتب على الشكل التالي:

$$f_t = 600\ \frac{d - x}{x} = 600\,\frac{0.85d - y}{y} \qquad (16\text{-}30)$$

نعوض إجهاد الشد f_t في العلاقة (16-23) فينتج ارتفاع منطقة الضغط من حل المعادلة التالية:

$$(B_p f_b) y^2 + (600 A_t - F) y - 510\, A_t d = 0 \qquad (16\text{-}31)$$

ثم نعوض الناتج في العلاقتين (16-24,30) لنستنتج العزم الذي تتحمله القاعدة وفق العلاقة التالية:

$$M_u = B_p y f_b \left(\frac{D_p}{2} - \frac{y}{2} \right) + A_t f_t \left(\frac{D_p}{2} - n \right) \qquad (16\text{-}32)$$

وكما في الحالة السابقة يجب أن يكون $M \le M_u$ وإلا يجب تغيير معطيات القاعدة كلاً أو جزءاً.

تحسب سماكة صفيحة القاعدة بأخذ شريحة منها عرضها $1\ mm$ وبارزة من وجه العمود إلى طرف الصفيحة الذي يتعرض إلى الضغط f_b. يجب أن يكون العزم المطبّق على هذه الشريحة عند وجه العمود (M_s) أصغر أو يساوي طاقة تحمّل الشريحة على العزم أي:

$$M_s \le p_{yp} S_p \qquad (16\text{-}33)$$

حيث:

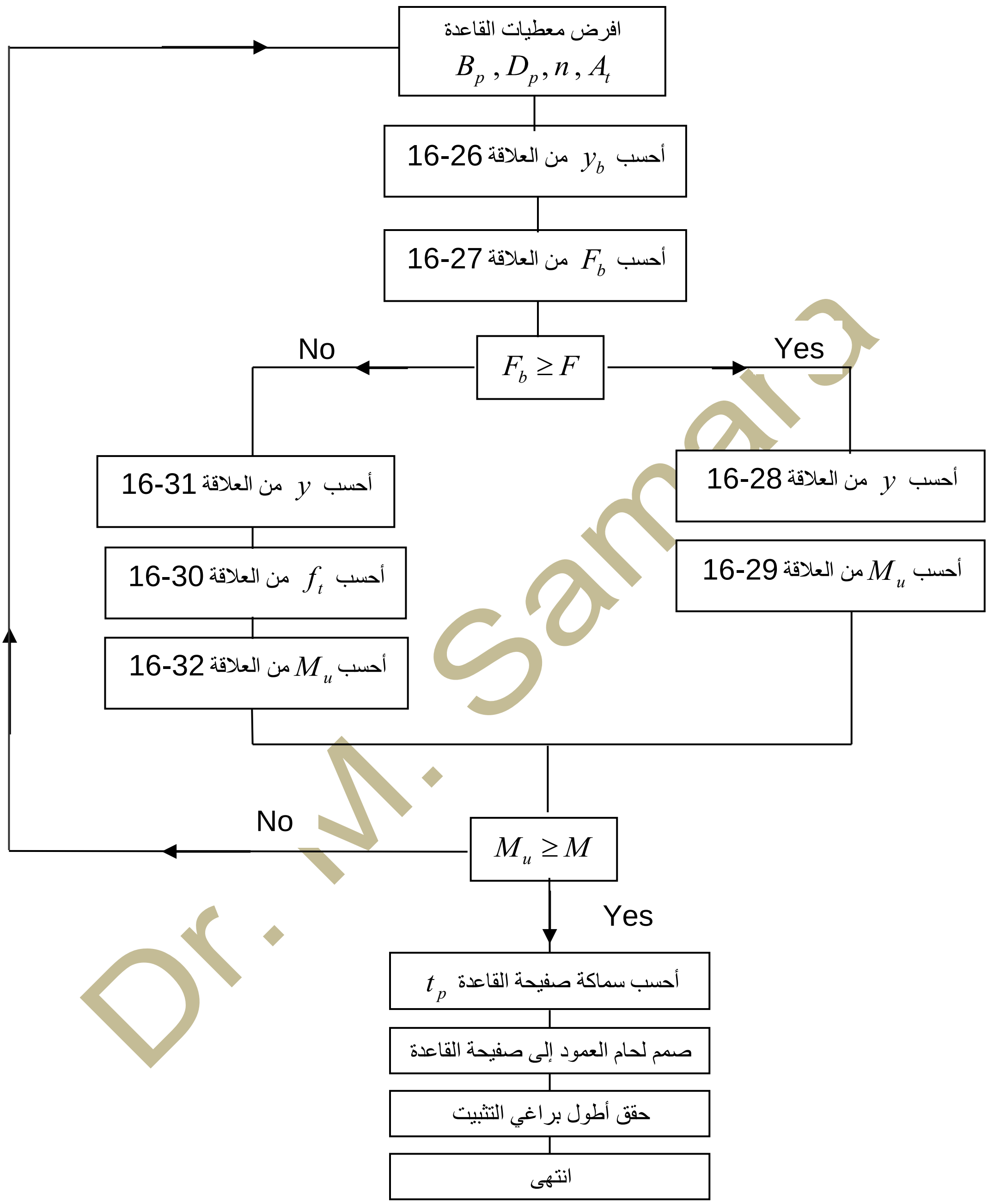
p_{yp} المقاومة التصميمية لفولاذ صفيحة الاستناد على أن لا يزيد على $270\ N/mm^2$.

$S_p = t_p^2/4$ معامل المقطع اللدن لشريحة عرضها $1mm$ من صفيحة الاستناد وسماكتها t_p. وبناءً على ذلك تُحدَّد سماكة الصفيحة وفق العلاقة التالية:

$$t_p \ge \left(\frac{4 M_s}{p_{yp}} \right)^{1/2} \qquad (16\text{-}34)$$

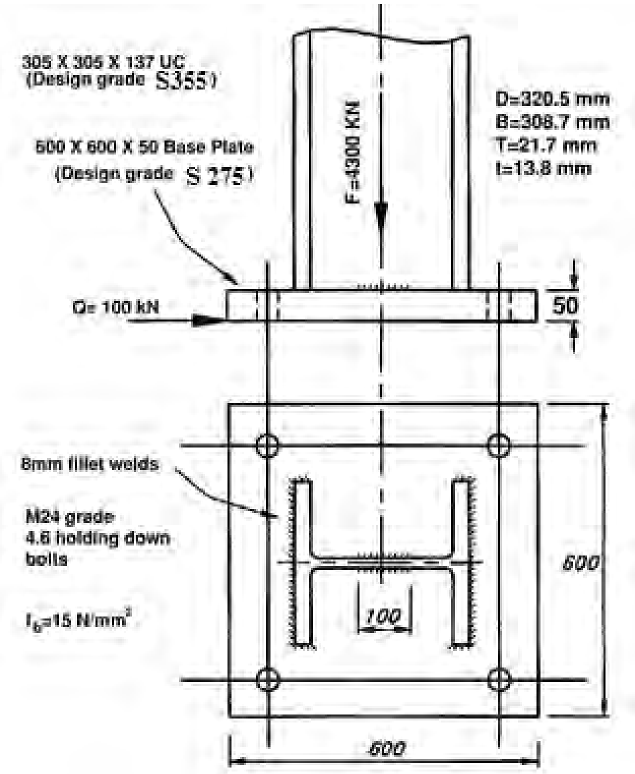
أما بالنسبة للحام بين صفيحة القاعدة والعمود فيحسب كما جاء في الفقرة (16–3–1).

يمكن تلخيص خوارزمية التصميم كما يلي:



مثال : (16-1)

حقق قاعدة العمود المبية في الشكل أدناه وذلك تحت تأثير القوى المصعّدة المبينة أيضاً.



الحـل :

* تحقيق أبعاد القاعدة

– تحسب المساحة الفعالة المطلوبة كما يلي:

$$A_{req} = F / f_b = 4300 \text{ x } 10^3 / 15 = 286.7 \text{ x } 10^3 \ \ mm^2$$

– تحسب المساحة الفعالة وفق العلاقة التالية:

العلاقة (16−1)

$$A_e = 2(B + 2c)(2c + T) + (D - 2T - 2c)(2c + t)$$

$$A_e = 2(308.7 + 2c)(2c + 21.7) + (320.5 - 2 \text{ x } 21.7 - 2c)(2c + 13.8)$$

– بمساواة المساحة الفعالة بالمساحة المطلوبة ينتج المعادلة التربيعية

التالية

$$4c^2 + 1.82 \text{ x } 10^3 c - 269.3 \text{ x } 10^3 = 0 \Rightarrow c = 117.6 \; mm$$

– لا يحدث تداخل في الإجهادات تحت الصفيحة لأن

$$(D - 2T)/2 = (320.5 - 2 \text{ x } 21.7)/2 = 138.5 \quad > c$$

– أبعاد صفيحة القاعدة كافية لأن

$$D + 2c = 320.5 + 2 \text{ x } 117.6 = 555.7 \; mm \quad < \quad D_p = 600 \; mm$$

$$B + 2c = 308.7 + 2 \text{ x } 117.6 = 543.9 \; mm \quad < \quad B_p = 600 \; mm$$

– تحسب سماكة صفيحة القاعدة كما يلي:

العلاقة 16-4

$$t_p = c\,(3 f_b / p_{yp})^{1/2} = 117.6\,(3 \text{ x } 15/255)^{1/2} = 49.4 \; mm < 50 \; mm$$

إذاً السماكة المفروضة $50 \; mm$ كافية

* تحقيق اللحام بين العمود والقاعدة

– يحسب طول اللحام الفعال كما يلي:

$$l_{ew} = 2\,(l - 2s) = 2\,(100 - 2 \text{ x } 8) = 168 \; mm$$

– بالعودة للجدول (5-10) نجد المقاومة التصميمية للحام

$$p_w = 220 \; N/mm^2$$

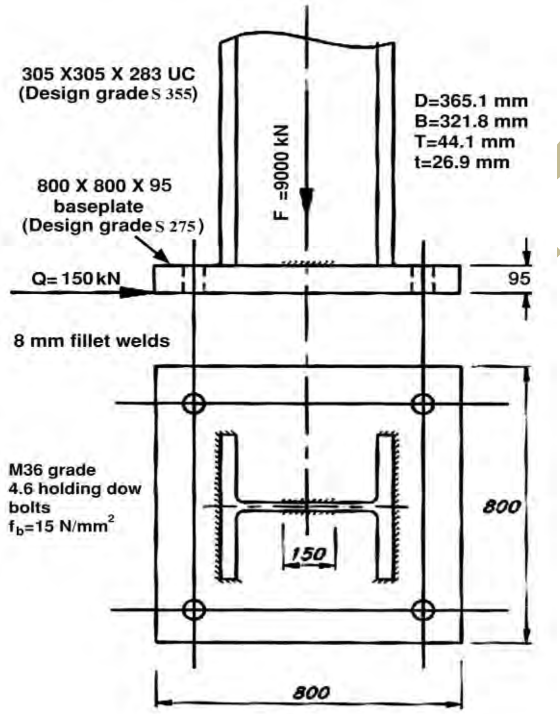
– تحسب مقاومة اللحام على القص وفق العلاقة التالية:

$$P_w = p_w \, l_{ew} \, a = 220 \text{ x } 168 \text{ x } (0.7 \text{ x } 8) \text{ x } 10^{-3}$$

$$= 206.9 \; kN \quad > \quad Q = 100 \; kN \qquad o.k.$$

مثال : (16-2)

حقق قاعدة العمود المبينة في الشكل أدناه وذلك تحت تأثير القوى المصعّدة المبينة أيضاً.



الحل :

* تحقيق أبعاد القاعدة

– تحسب المساحة الفعالة المطلوبة كما يلي:

$$A_{req} = F / f_b = 9000 \text{ x } 10^3 / 15 = 600 \text{ x } 10^3 \;\; mm^2$$

– تحسب المساحة الفعالة وفق العلاقة (16-1) كما يلي:

العلاقة 16-1

$$A_e = 2(321.8 + 2c)(2c + 44.1) + (365.1 - 2 \text{ x } 44.1 - 2c)(2c + 26.9)$$

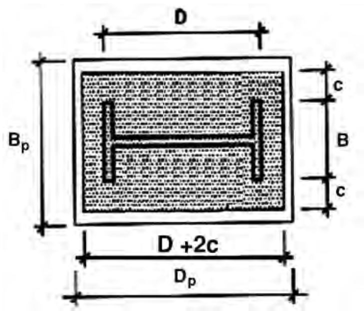
– بمساواة المساحة الفعالة بالمساحة المطلوبة ينتج المعادلة التربيعية التالية

$$4c^2 + 1.94 \text{ x } 10^3 c - 564 \text{ x } 10^3 = 0 \Rightarrow c = 204.5 \;\; mm$$

– سيحدث تداخل في الإجهادات تحت الصفيحة لأن

$$(D - 2\,T)/2 = (365.1 - 2 \text{ x } 44.1)/2 = 138.4\,mm \quad < c$$

إذاً لابد من إعادة حساب المساحة الفعالة مع أخذ التداخل في الإجهادات بالحسبان



– تحسب المساحة الفعالة كما هو مبين في الشكل جانباً وفق العلاقة التالية:

$$A_e = (D + 2\,c)(B + 2\,c)$$

$$A_e = (365.1 + 2\,c)(321.8 + 2\,c)$$

– بمساواة المساحة الفعالة بالمساحة المطلوبة تنتج العلاقة التربيعية التالية:

$$4\,c^2 + 1374\,c - 482510.82 = 0 \quad \Rightarrow \quad c = 215.7\ mm$$

– أبعاد القاعدة كافية لأن

$$D + 2\,c = 365.1 + 2 \text{ x} 215.7 = 796.5\ mm \ < \ D_p = 800\ mm$$

$$B + 2\,c = 321.8 + 2 \text{ x} 215.7 = 753.2\ mm \ < \ B_p = 800\ mm \quad o.k.$$

– تحسب سماكة صفيحة القاعدة كما يلي:

العلاقة 16-4

$$t_p = c\left(3\,f_b \,/\, p_{yp}\right)^{1/2}$$

– على فرض أن سماكة الصفيحة $95\ mm$ فإن

الجدول 2–1

$$p_{yp} = 245\ N/mm^2 \ < \ 270$$

$$t_p = 215.7\left(\frac{3 \text{ x } 15}{245}\right)^{1/2} = 92.5\ mm \ < \ 95\ mm \qquad o.k.$$

* تحقيق اللحام

– يحسب طول اللحام الفعال كما يلي:

$$l_{ew} = 2\,(l - 2\,s) = 2\,(150 - 2 \text{ x } 8) = 268\ mm$$

– بالعودة للجدول (5-10) نجد المقاومة التصميمية للحام

$p_w = 220\ N/mm^2$

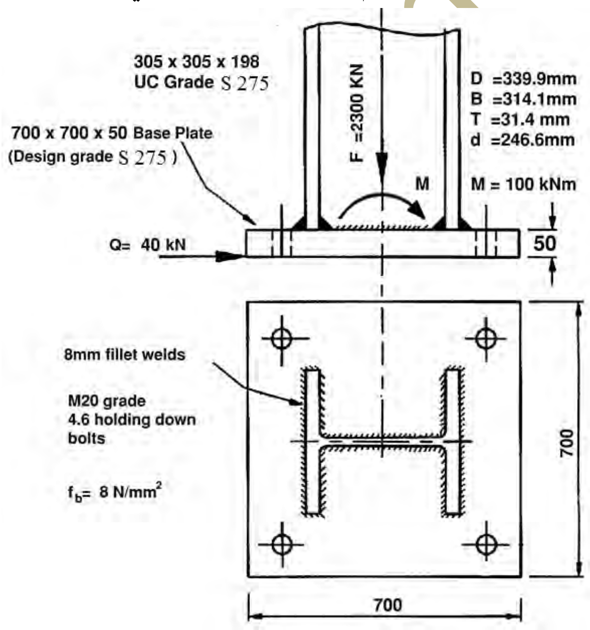
– تحسب مقاومة اللحام على القص وفق العلاقة التالية:

$$P_w = p_w\ l_{ew}\ a = 220 \text{ x } 268 \text{ x } (0.7 \text{ x } 8)$$

$$= 330\ kN \ > \ Q = 150\ kN \qquad o.k.$$

مثال: (16-3)

حقق قاعدة العمود المبينة في الشكل أدناه تحت تأثير تراكب الأحمال المصعّدة الناظمية والقاصّة وعزم الانعطاف المبينة في الشكل.



الحـــل:

* تحقيق أبعاد القاعدة

– تحدد لا مركزية القوة الناظمية كما يلي:

$$e = M / F = 100 \text{ x } 10^3 / 2300 = 43.5\ mm \ < \ D_p/6 = 117\ mm$$

إذاً تتعرض كل القاعدة إلى إجهادات ضاغطة

– تحدد الإجهادات الأعظمية والأصغرية تحت القاعدة كما يلي:

العلاقة 16-7

$$f_{max} = \frac{F}{B_p\, D_p} + \frac{6\,M}{B_p\, D_p^2} = \frac{2300 \text{ x } 10^3}{700 \text{ x } 700} + \frac{6 \text{ x } 100 \text{ x } 10^6}{700 \text{ x } 700^2}$$

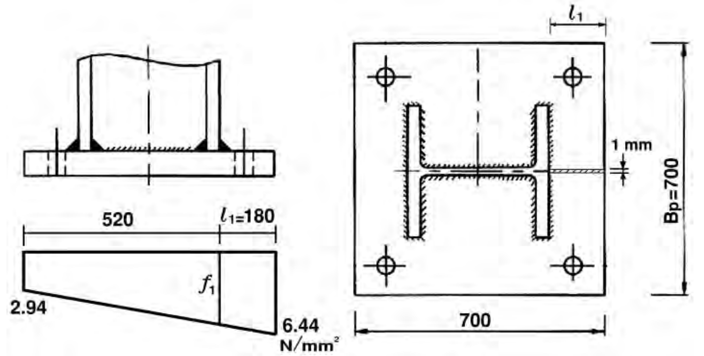
$$f_{max} = 4.69 + 1.75 = 6.44\ N < f_b = 8\ N/mm^2 \qquad o.k.$$

$$f_{min} = \frac{F}{B_p\, D_p} - \frac{6\,M}{B_p\, D_p^2} = 4.69 - 1.75 = 2.94\ \ N/mm^2$$

– ويحدد الإجهاد عند وجه العمود كما يلي:

$$f_1 = 6.44 - (6.44 - 2.94) \text{ x } 180/700 = 5.54\ N/mm^2$$

ويبين الشكل أدناه توزع الإجهادات تحت الصفيحة



– نأخذ شريحة من صفيحة القاعدة بعرض $1\ mm$ تمتد من وجه العمود حتى طرف الصفيحة كما هو مبين في الشكل أعلاه فيحدد العزم الأعظمي الذي تتعرض له الشريحة كما يلي:

$$M_s = \frac{1}{6} f_1\, l_1^2 + \frac{1}{3} f_{max}\, l_1^2 = \frac{1}{6} \text{ x } 5.54 \text{ x } 180^2 + \frac{1}{3} \text{ x } 6.44 \text{ x } 180^2$$

$$= 99.5 \text{ x } 10^3\ N\ mm$$

– تحدد سماكة الصفيحة كما يلي:

العلاقة 16-9

الجدول 2-1

$$\left.\begin{array}{l} t_p = \left(\dfrac{6\,M_s}{1.2\,p_{yp}}\right)^{1/2} \\ p_{yp} = 255\ N/mm^2 \end{array}\right\} \Rightarrow t_p = \left(\frac{6 \text{ x } 99.5 \text{ x } 10^3}{1.2 \text{ x } 255}\right)^{1/2} = 42\ mm < 50\ mm$$

* تحقيق لحام القاعدة مع العمود

نفرض أنه تم قص العمود آلياً وبالتالي ستنتقل القوة الناظمية F مباشرةً إلى القاعدة، أما العزم M فينتقل إلى الصفيحة عبر لحام جناحي العمود وعليه تحدد القوة التي يتحملها لحام الجناح الواحد بالعلاقة التالية:

العلاقة 16-10

$$F_f = \frac{M}{D - T} = \frac{100 \text{ x } 10^3}{339.9 - 31.4} = 324 \;\; kN$$

– تحدد القوة التي يتحملها لحام الجناح كما يلي:

الجدول 10-5

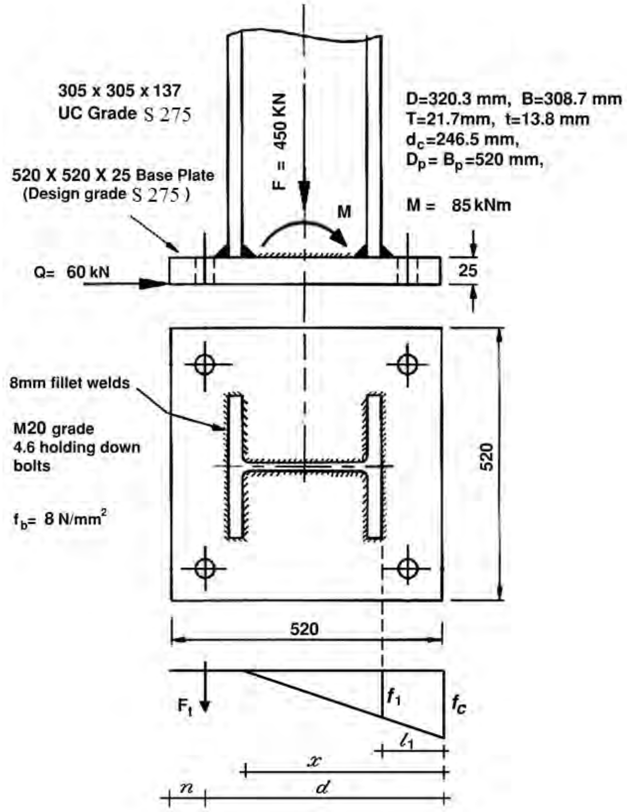
$$\left.\begin{aligned} P_w &= p_w \, l_{ew} \, a \\ p_w &= 220 \;\; N/mm^2 \\ l_{ew} &= 2\,B = 2 \text{ x } 314.1 = 628 \; mm \\ a &= 0.7s = 0.7 \text{ x } 8 = 5.6 \; mm \end{aligned}\right\} \Rightarrow P_w = 773 \; k\,N > F_f \qquad o.k.$$

– تحدد القوة التي يتحملها لحام الجسد كما يلي:

$$\left.\begin{aligned} P_w &= p_w \, l_{ew} \, a \\ p_w &= 220 \;\; N/mm^2 \\ l_{ew} &= 2\,d = 2 \text{ x} 246.6 \\ &= 493 \; mm \\ a &= 5.6 \; mm \end{aligned}\right\} \Rightarrow P_w = 607 \; k\,N > Q = 40 \; kN \qquad o.k.$$

مثال : (16-4)

حقق الإجهادات تحت صفيحة قاعدة العمود المبين في الشكل أدناه مع فرض توزع الإجهادات خطياً وفقاً لنظرية المرونة وذلك تحت تأثير الأحمال المبينة على الشكل أيضاً واحسب سماكة صفيحة القاعدة المطلوبة من فولاذ ماركته S275. وكذلك حقق لحام العمود إلى صفيحة القاعدة وحقق برغيي التثبيت علماً أنه استخدم برغيان 2M20 ماركة 4.6 من كل طرف



الحـــل:

$$n = 50\ mm \Rightarrow d = 470\ mm,\ l_1 = (D_p - D)/2 = 99.85\ mm$$

- جزء من القاعدة مضغوط لأن:

$$e = M/F = 85 \times 10^3/450 = 189\ mm > D_p/6 = 86.7 mm$$

- يحدد طول المنطقة المضغوطة بتطبيق العلاقة (16-18)

$$d_1 = 0.5\ (d - n) + e = 0.5\ (470 - 50) + 189 = 399\ mm$$

$$\left.\begin{array}{l} A_1 = 6\,\mathrm{m}\,\mathrm{A_t}\,\mathrm{d_1}/B_p \\ m = 15 \\ A_t = 2 \times 245 = 490 \end{array}\right\} \Rightarrow A_1 = 6 \times 15 \times 490 \times 399/520 = 33.8 \times 10^3\ mm^2$$

نعوض في العلاقة (16-18) فينتج

العلاقة 16-18

$$x^3 - 3(470 - 399)x^2 + 33.8 \times 10^3\ x - 33.8 \times 10^3 \times 470 = 0$$

أو $x^3 - 213\,x^2 + 33.8 \text{ x } 10^3\, x - 15886 \text{ x } 10^3 = 0 \Rightarrow x = 288\, mm$

– نعوض قيمة x في المعادلة (16-15) فينتج إجهاد الضغط الأعظمي f_c كما يلي:

العلاقة 16-15

$$450 \text{ x } 10^3 = f_c \left[0.5 \text{ x } 520 \text{ x } 288 - 15 \text{ x } 490 \left(470 - 288\right)/288 \right] \Rightarrow$$

$$f_c = 6.4\ N/mm^2 \ < \ f_b = 8\ Nmm^2 \qquad o.k.$$

– نعوض قيمة f_c في العلاقة (16-12) لتحديد قيمة إجهاد الشد في برغيي التثبيت فينتج

العلاقة 16-12

$$f_t = 15 \text{ x } 6.4 \text{ x } \left(470 - 288\right)/288 = 60.7\ \ N/mm^2$$

– تحدد قوتي الشد والقص المطبّقتين على البرغي الواحد كما يلي:

$$F_t = 60.7 \text{ x } 245 \text{ x } 10^{-3} = 14.9\, kN$$

$$F_s = Q/4 = 60/4 = 15\ kN$$

– يحدد إجهاد الضغط عند وجه العمود f_1 كما يلي:

$$f_1 = 6.4\left(288 - 99.85\right)/288 = 4.18\, N/mm^2$$

– يحدد العزم المطبق عند وجه العمود على شريحة عرضها $1\ mm$ كما يلي:

$$M_s = \left(\frac{1}{6} f_1 + \frac{1}{3} f_c\right) l_1^2 = \left(\frac{1}{6} \text{ x } 4.18 + \frac{1}{3} \text{ x } 6.4\right) 99.85^2$$

$$= 28215\, N\, mm$$

– تحدد سماكة صفيحة القاعدة كما يلي:

العلاقة 16-9 الجدول 2-1

$$\left.\begin{array}{l} t_p = \left(\dfrac{6\, M_s}{1.2\, p_{yp}}\right)^{1/2} \\ p_{yp} = 265\, N/mm^2 \end{array}\right\} \Rightarrow t_p = \left(\frac{6 \text{ x } 28215}{1.2 \text{ x } 265}\right)^{1/2} = 23.1\, mm$$

بفرض $t_p \geq 22\, mm$ نختار $t_p = 25\, mm$

– تحدد القوة المطبّقة على لحام الجناح كما يلي:

العلاقة 16-10

$$F_f = M/\left(D - T\right) = 85 \text{ x } 10^3/\left(320.3 - 21.7\right) = 284.7\ kN$$

– تحدد القوة التي يتحملها لحام الجناح كما يلي:

الجدول 10-5

$$\left.\begin{aligned} P_w &= p_w\, l_{ew}\, a \\ p_w &= 220 \;\; N/mm^2 \\ l_{ew} &\cong 2B = 2\text{x}308.7 = 617.4 \; mm \\ a &= 0.7\,\text{s} = 0.7 \text{ x } 8 = 5.6 \; mm \end{aligned}\right\} \Rightarrow \left.\begin{aligned} P_w &= 220\,\text{x}617.4\,\text{x}5.6\,\text{x}10^{-3} \\ &= 760 \; k\,N > F_f \quad o.k. \end{aligned}\right\}$$

– تحدد القوة التي يتحملها لحام الجسد كما يلي:

الجدول 10-5

$$\left.\begin{aligned} P_w &= p_w\, l_{ew}\, a \\ p_w &= 220 \;\; N/mm^2 \\ l_{ew} &\cong 2\, d_c = 2 \text{ x}246.5 \\ &= 493 \; mm \\ a &= 5.6 \; mm \end{aligned}\right\} \Rightarrow P_w = 607 \; k\,N > Q = 60 \; kN \; o.k.$$

– تحدد طاقة تحمّل البرغي على القص والشد كما يلي:

الجدول 10-2

$$\left.\begin{aligned} P_s &= p_s\, A_s \\ p_s &= 160 \;\; N/mm^2 \\ A_s &= 245 \; mm^2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow P_s = 39.2 \; kN > F_s = 15 \; kN$$

الجدول 10-2

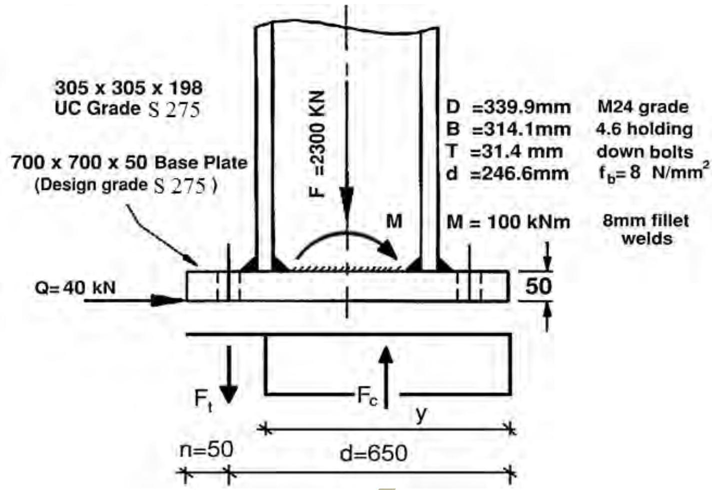
$$\left.\begin{aligned} P_t &= p_t\, A_t \\ p_t &= 240 \;\; N/mm^2 \\ A_t &= 245 \; mm^2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow P_t = 58.8 \; kN > F_t = 14.9 \; kN$$

– يجب تحقيق طاقة تحمّل البرغي بتطبيق علاقة الترابط (10-7) فينتج:

$$\frac{F_s}{P_s} + \frac{F_t}{P_t} = \frac{15}{39.5} + \frac{14.9}{58.8} = 0.63 \; < \; 1.4 \qquad o.k.$$

مثال : (16-5)

أعد تحقيق قاعدة العمود المدروسة في المثال (16-3) تحت تأثير نفس الأحمال ولكن باستخدام الطريقة الحدية في توزيع الإجهادات بين صفيحة القاعدة والأساس الخرساني.



الحل:

- باستخدام برغيين في منطقة الشد $2M20\ Gr4.6$ فإن:

$$A_t = 490\ mm^2\ ,\ p_t = 195\ N/mm^2$$

$$f_b = 8\ N/mm^2\ ,\ d = 700 - 50 = 650\ mm$$

- يحدد موقع المحور المحايد المقابل للشروط التوازنية وكذلك ارتفاع منطقة الضغط التوازنية كما يلي:

العلاقة 16-25

$$x_b = \frac{600}{600+195}\ \text{x}\ 650 = 490.5\ mm$$

$$y_b = 0.85\, x_b = 417\ mm$$

- تحدد القوة الناظمية التوازنية كما يلي:

العلاقة 16-27

$$F_b = (\ 700\ \text{x}\ 417\ \text{x}\ 8 - 490\ \text{x}\ 195\ )\ \text{x}\ 10^{-3} = 2239.5\ kN$$

- بما أن $F_b < F$ فإن $f_t < p_t$ وعليه يحدد ارتفاع منطقة

الضغط بحل المعادلة التالية:

العلاقة 16-31

$$\left(B_p\ f_b\right)y^2+\left(600\ A_t - F\right)y - 510\ A_t\ d=0$$

$$(700 \text{ x } 8)\,y^2+\left(600 \text{ x } 490 - 2300 \text{ x } 10^3\right)y - 510 \text{ x } 490 \text{ x } 650 = 0$$

أو:

$$y^2 - 358.2\ y - 29006 = 0 \quad \Rightarrow \quad y = 426\ mm$$

– يحدد إجهاد الشد في البرغيين كما يلي:

العلاقة 16-30

$$f_t\ = 600\ (\ 0.85 \text{ x } 650 - 426\ )\,/\,426 = 178\ N/mm^2 \quad < p_t$$

– يحدد العزم الذي يمكن أن تتحمله صفيحة القاعدة كما يلي:

العلاقة 16-32

$$M_u = \left[700 \text{ x}426\text{x}8\left(\frac{700}{2}-\frac{426}{2}\right)+490\text{x}178\text{x}\left(\frac{700}{2}-50\right)\right]\text{x}10^{-6}$$

$$= 353\ kNm \quad > \ M = 100\ kN \qquad o.k.$$

– يحسب العزم M_s المطبّق على شريحة عرضها $1mm$ من صفيحة الاستناد عند وجه العمود كما يلي:

$$M_s = 8 \text{ x } 180^2\,/\,2 = 129600\ N\,mm$$

– تحدد سماكة الصفيحة

(على فرض $t_p\ \geq\ 40\ mm \ \Leftarrow\ p_{yp} = 255\ N/mm^2$) كما يلي:

العلاقة 16-34

$$t_p = \left(\frac{4 \text{ x } 129600}{255}\right)^{1/2} = 45\ mm$$

– يتم تحقيق اللحام تماماً كما في المثال (3-16)

– تحدد قوتى الشد والقص المطبّقتين على البرغي الواحد كما يلي:

$$F_t = f_t\ A_t\,/\,2 = 178 \text{ x } 490\,/\,2 \text{ x } 10^{-3} = 43.6\ kN/bolt$$

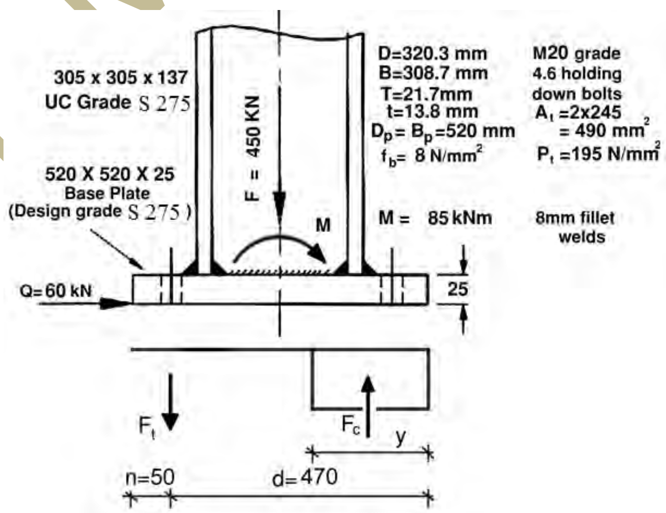
$$F_s = Q\,/\,4 = 40\,/\,4 = 10\ kN/bolt$$

– تحدد طاقة تحمّل البرغي على القص كما يلي:

$$P_s = p_s\, A_s \quad p_s = 160 \;\; N/mm^2 \quad A_s = 490/2 = 245 \; mm^2 \; \Rightarrow \; P_s = 160 \text{ x } 245 \text{ x } 10^{-3} = 39.2 \, k \, N$$	الجدول 10-2
– تحدد طاقة تحمّل البرغي على الشد كما يلي:	
$$P_t = p_t\,(A_t/2) \quad p_t = 240 \;\; N/mm^2 \quad A_t/2 = 245 \; mm^2 \; \Rightarrow \; P_t = 240 \text{ x } 245 \text{ x } 10^{-3} = 58.8 \, k \, N$$	الجدول 10-2
– يتم التحقق من طاقة تحمّل البرغي بتطبيق علاقة الترابط (10-7) فينتج:	
$$\frac{F_s}{P_s} + \frac{F_t}{P_t} = \frac{10}{39.2} + \frac{43.6}{58.8} = 0.99 \;\; < \;\; 1.4 \qquad o.k.$$	العلاقة 10-7

مثال : (16-6)

حل المثال (16-4) وذلك باستخدام فرضيات النظرية الحدية في توزيع الإجهادات تحت صفيحة القاعدة



الحــل:

- يحدد موقع المحور السليم المقابل للشروط التوازنية وكذلك ارتفاع منطقة الضغط التوازنية كما يلي:

العلاقة 16-25

$$x_b = \frac{600}{600+195} \text{ x } 470 = 354.7 \, mm$$

$$y_b = 0.85 \, x_b = 301.5 \, mm$$

- تحدد القوة الناظمية التوازنية

العلاقة 16-27

$$F_b = (520 \text{ x } 301.5 \text{ x } 8 - 490 \text{ x } 195) \text{ x } 10^{-3} = 1158.7 \, kN$$

- بما أن $F_b > F = 450 \, kN$ فإن $f_t = p_t$ وعليه يحدد ارتفاع منطقة الضغط كما يلي:

العلاقة 16-28

$$y = \frac{1}{520 \text{ x } 8} \left(450 \text{ x } 10^3 + 490 \text{ x } 195\right) = 131.1 \, mm$$

العلاقة 16-32

$$M_u = \left[520 \text{ x} 131.1 \text{x } 8 \left(\frac{520}{2} - \frac{131.1}{2} \right) + 490 \text{x} 195 \left(\frac{520}{2} - 50 \right) \right] \text{x} 10^{-6}$$

$$= 126 \, kNm$$

إذاً $M_u = 126 \, kN\,m > M = 85 \, kN\,m \qquad o.k.$

- يحدد العزم عند وجه العمود الذي تتحمله شريحة عرضها $1mm$ كمايلي:

$$M_s = \frac{8 \text{ x } 99.85^2}{2} = 39880 \, Nmm$$

- تحدد سماكة صفيحة القاعدة كما يلي:

العلاقة 16-34

الجدول 2-1

$$\left.\begin{array}{l} t_p = \left(\dfrac{4 \, M_s}{p_{yp}} \right)^{1/2} \\ p_{yp} = 265 \;\; N/mm^2 \end{array}\right\} \Rightarrow t_p = \left(\frac{4 \text{ x } 39880}{265} \right)^{1/2} = 24.5 \, mm$$

نختار $t_p = 25 \, mm$ بفرض $t_p \geq 22 \, mm$

- يتم تحقيق لحامي الجناح والجسد تماماً كما في المثال (16-4)
- تحدد قوتي الشد والقص المطبّقتين على البرغي الواحد كما يلي:

$$F_t = p_t(A_t/2) = 240 \text{ x } 245 \text{ x } 10^{-3} = 58.8\, kN$$

$$F_s = Q/4 = 60/4 = 15\ kN$$

- تحدد طاقة تحمّل البرغي الواحد على الشد والقص كما في المثال -16(4) فينتج: $P_t = 58.8\ kN$ و $P_s = 39.2\ kN$

- يتم تحقيق طاقة تحمّل البرغي بتطبيق علاقة الترابط (7- 10) فينتج:

$$\frac{F_s}{P_s} + \frac{F_t}{P_t} = \frac{15}{39.5} + \frac{58.8}{58.8} = 1.38 \ < \ 1.4 \qquad o.k.$$

الفصل السابع عشر

تصميم الإطار البابي

Portal Frame Design

17-1 مقدمـة

تُعتبَر جملة الإطار البابي من أكثر الجمل الإنشائية استعمالاً في الأبنية الصناعية لأنها أكثر جاذبية وتتطلب أقل صيانة وأقل تدفئة من جملة الجائز الشبكي. ويُصمَّم الإطار البابي إما بمفاصل ثلاث أومتمفصلاً مع قاعدتيه أو موثوقاً معهما، ويبين الشكل (17-1) هذه الأنواع الثلاث. لكن الإطار المتمفصل مع قاعدتيه أكثر شيوعاً لأن قاعدتيه أصغر مما يجعله أكثر اقتصادية من الإطار الموثوق ومن جهة أخرى يُعتبَر تأمين وثاقه تامة مع القاعدة أمراً صعباً. ولهذا سنتناول في هذا الفصل تصميم الإطار المتمفصل مع قاعدتيه فقط.

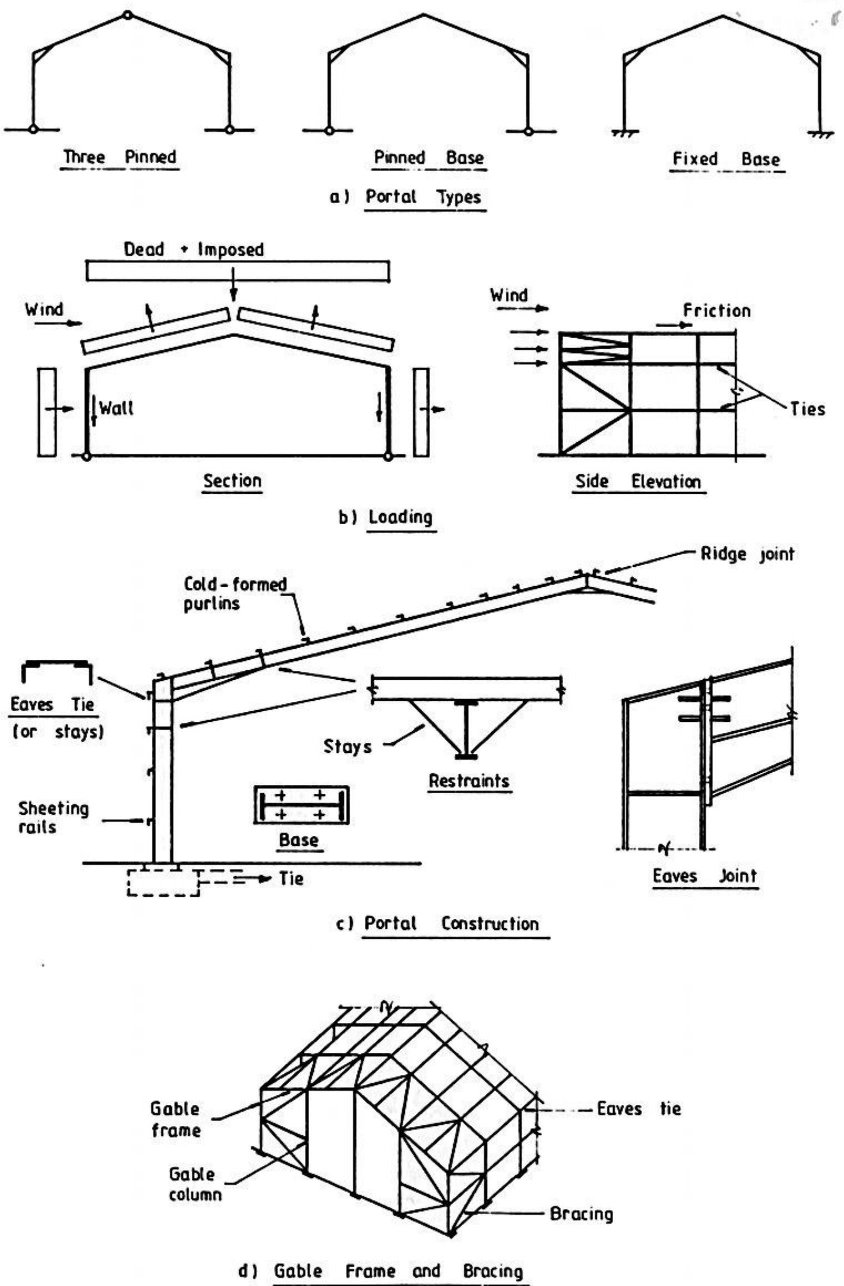
يقاوم الإطار الأحمال التي تقع في مستويه (الميتة والحية والرياح) بواسطة الفعل الإطاري الصلب، أما أحمال الرياح التي تتعامد مع مستويه فتُقاوَم بشبكات التربيط التي تُنفَّذ عادةً في الفتحة الأولى بين الإطارات في كل من طرفي البناء.

يسمح الكود BS 5950 بتصميم الإطار وفق إحدى منهجيتين التصميم إما التصميم المرن أو التصميم اللدن لكن الأخير أكثر شيوعاً لأنه يعطي حلولاً أكثر اقتصادية.

وفي كلا المنهجيتين لابد من اتباع خطوات التصميم التالية:

- تحليل مرن أو لدن للإطار.
- تصميم عناصر الإطار مع الأخذ بالحسبان تحنيب الفتل الجانبي والقيود اللازمة لمنع التحنيب خارج مستوي الإطار.
- تدقيق الاستقرار الجانبي للإطار في مستويه.
- تصميم وصلات الإطار والتأكد من قيامها بنقل الأفعال التصميمية بين عناصر الإطار.

– تدقيق السهوم عند الركبة (منطقة التقاء العمود مع الجائز).



الشكل (17-1)

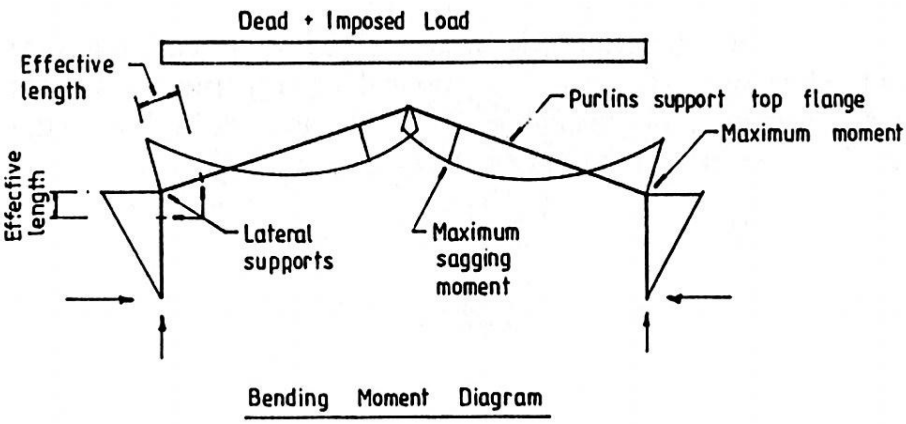
17-2 التصميم المرن Elastic design

يتم التحليل الإنشائي المرن للإطار إما يدوياً أو حاسوبياً تحت تأثير كل نوع من الأحمال (الميتة W_d والحية W_i والرياح W_w) ثم تُراكَب النتائج بعد ضربها بعامل التصعيد المناسب فينتج مجموعة من حالات التحميل أهمها:

* حالة التحميل الرئيسية : تراكب الأحمال الحية والميتة $1.4 W_d + 1.6 W_i$ ويبين الشكل (17-2) مخطط عزم انعطاف نموذجي ناتج عن هذه الحالة.
* حالات تراكب أحمال الرياح مع الأحمال الميتة الشاقولية:

$$1.2 W_d + 1.2 W_i + 1.2 W_w$$

* حالات تراكب أحمال الرياح مع الأحمال الميتة: $1.0 W_d + 1.4 W_w$
* حالة تراكب الأحمال المصعّدة الشاقولية مع الأحمال الافتراضية المنصوص عليها في الفقرة (2-1-1)



الشكل (17-2)

يتم اختيار مقطع الجائز عادةً أخف من مقطع العمود بحوالي 40% – 30 . ولتقوية الجائز في منطقة اتصاله مع العمود (الركبة) يتم إضافة كتف للجائز (شطفة) كما هو مبين في الشكل (17-1c) والدور الرئيسي لهذه الشطفة هو تأمين ذراع مناسب للقوى في براغي الوصل. ولقد جرت العادة أن يتم إهمال تأثير هذه الشطفة أثناء

التحليل الإنشائي للإطار، أما إذا كانت الشطفة كبيرة لابد من اعتبارها في التحليل الإنشائي لأنها تجذب عزوماً أكثر إلى نقطة اتصال الجائز مع العمود.

17-2-1 الأطوال الفعالة Effective lengths

– الأطوال الفعّالة للعناصر في مستوي الإطار: يتم تحويل الإطار إلى إطار مكافئ مستطيل كما في الشكل (17-3) وتُحدَّد الأطوال الفعّالة للعناصر كمايلي:

* الطول الفعّال للعمود: عندما تكون زاوية ميل السقف أقل من °10 يتم تحديد الطول الفعّال للعمود باستخدام المنحني (4-4b) الخاص بأعمدة الإطارات ذات العُقَد الصلبة والمسموح لها بالانزياح الجانبي مع اعتبار

$$k_1=\frac{I_c/L_c}{(I_c/L_c)+(I_R/L_R)}$$

$k_2=1.0$ (الاتصال مع القاعدة مفصلي)

$k_2=0.5$ (الاتصال مع القاعدة وثاقة)

حيث :

I_c و I_R عزم عطالة مقطع العمود ومقطع الجائز حول محوريهما الرئيسيين على الترتيب.

L_c و L_R طول العمود وطول الجائز على الترتيب

وعندما تزيد زاوية ميل السقف على °10 يمكن تحديد الطول الفعّال للعمود وفق العلاقة التالية:

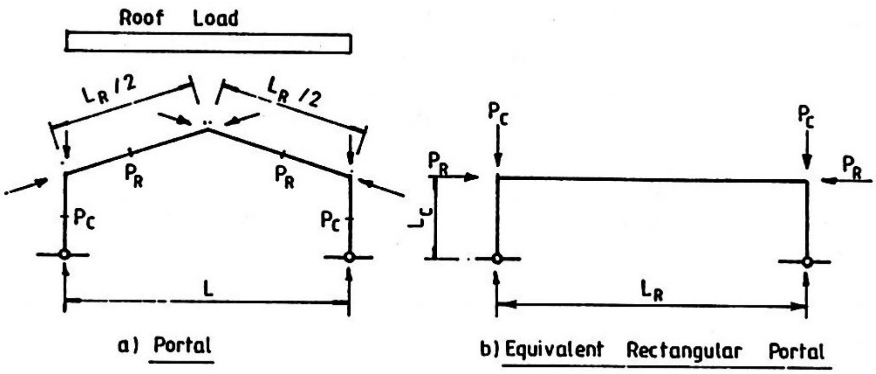
$$k_c=L_{Ec}/L_c=2.0+0.45\,\frac{I_c/L_c}{I_R/L_R} \qquad (17\text{-}1)$$

حيث : L_{Ec} الطول الفعّال للعمود.

* الطول الفعّال للجائز: يعتمد الطول الفعّال للجائز على الطول الفعّال للعمود لأن الإطار ينهار كوحدة متكاملة عند بلوغ الحمل الحرج وعليه يُحدَّد الطول الفعّال للجائز من العلاقة التالية:

$$k_R = \frac{L_{ER}}{L_R} = k_c \ \frac{2\ L_c}{L_R} \sqrt{\frac{F_c\ \ I_R}{F_R\ \ I_c}} \qquad (17\text{-}2)$$

حيث : F_c و F_R متوسط القوة المحورية التصميمية في كل من العمود والجائز على الترتيب. و L_{ER} الطول الفعّال لكامل الجائز.

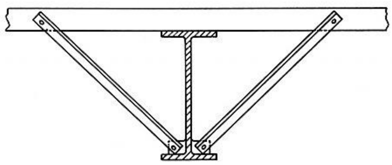


الشكل (17-3)

- الأطوال الفعّالة للعناصر خارج مستوي الإطار: على الرغم أن الجوائز الثانوية وسكك الجدران تقيد جانبياً جناح العمود وجناح الجائز الخارجيين إلا أنه من الضروري تأمين قيود جانبية للجناح الداخلي في بعض النقاط الحرجة فيصبح الجناحان مقيدين ضد الفتل أيضاً. تُحدَّد النقاط الحرجة في الإطار المتمفصل مع قاعدتيه والخاضع لعزم انعطاف ناتج عن الأحمال الشاقولية كالمبين في الشكل (17-2) في المواضع التالية:

* الركبة: يتم تأمين القيد إما عن طريق جائز عمودي على الركبة (eaves beam) ويصل بين الإطارات المتتالية أو بتركيب شداد (stay) يصل بين سكة الجدار في منطقة الركبة والجناح الداخلي للعمود كما في الشكل (17-1c).
* في النصف العلوي من العمود : (في أكثر من موقع إذا اقتضت الحاجة) ويتم تأمين القيد بتركيب شدّاد يصل بين سكة الجدار وجناح العمود الداخلي كما في الشكل (17-4).

* قرب نقطة انعدام العزم في الجائز: ويتم تأمين القيد أيضاً بتركيب شدّاد يصل بين الجائز الثانوي الأقرب إلى نقطة انعدام العزم والجناح السفلي للجائز كما في الشكل (4-17).



الشكل (4-17)

17-2-2 تصميم العناصر ثابتة العطالة

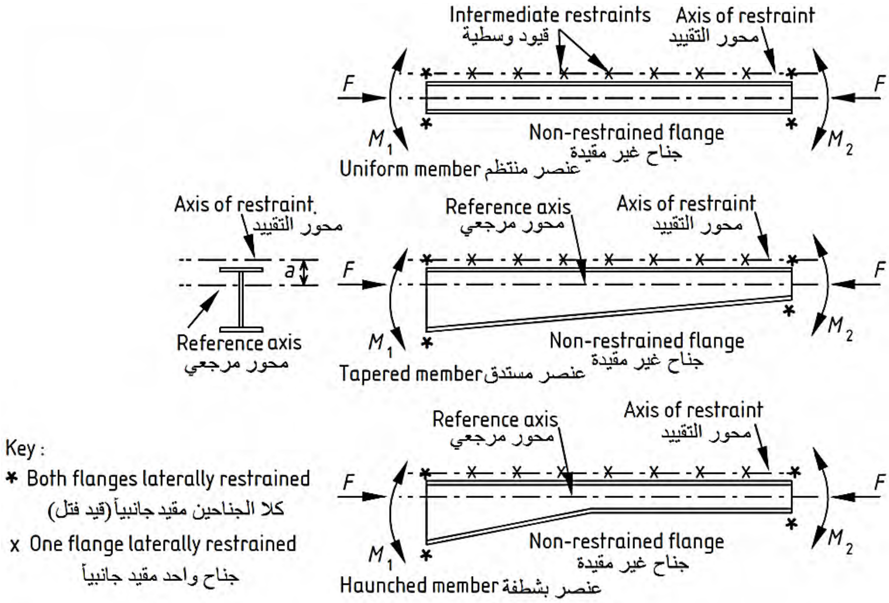
يتم تصميم العمود ذي المقطع الثابت كعنصر يتعرض إلى قوة محورية وعزم انعطاف مسيطر وتتألف خطوات التصميم تحت تأثير حالة التحميل الحرجة (أحمال ميتة + أحمال حية) من ذات الخطوات المبينة في الفصل الثامن حيث يجب تحقيق طاقة تحمّل العمود موضعياً وفقاً لإحدى العلاقتين (1,2-8) وكذلك تحقيق العمود على التحنيب الكلي وتحنيب الفتل الجانبي وفقاً للعلاقتين (3,4-8).

يتألف الجائز من عنصر ذي مقطع ثابت مع شطفه في منطقة الركبة طولها حوالي 10% من طول الجائز وشطفة أخرى أصغر في منطقة ذروة الإطار. ويبين الشكل (2-17) مخططاً نموذجياً لعزم الانعطاف الذي يتعرض له الجائز تحت تأثير حالة التحميل الحرجة حيث يخضع الجناح السفلي للجائز إلى اجهادات ضاغطة في منطقة الركبة تتحول إلى شادّة بعد نقطة انعدام العزم فيصبح عندها الجناح العلوي مضغوطاً فيتم تأمين استقراره بواسطة الجوائز الثانوية.

إذا كانت الشطفة قصيرة يمكن إهمال تأثيرها ويتم التصميم بناءً على العزم الأعظمي في الركبة ويتم تأمين قيد فتل للجناح السفلي عند أول أو ثاني جائز ثانوي بُعداً من الركبة وتستمر إجراءات التصميم تماماً كما في حالة العمود.

17-2-3 تصميم العناصر متغيرة العطالة

ينطبق مضمون هذه الفقرة على تصميم العناصر أو أجزاء العناصر الواقعة بين قيدي فتل فعّالين يحصران بينهما مجموعة من القيود تقيد الجناح المشدود كما في الشكل (17-5).



الشكل (17-5) عنصر بجناح واحد مقيد جانبياً

يجب تحقيق طاقة تحمّل العنصر موضعياً وفقاً لعلاقة الترابط (8-1) كما يجب تحقيق تحنيب العنصر أو جزء العنصر وفقاً للفقرة (8-3) مع إعتبار الطول الفعّال L_E مساوياً للمسافة بين القيود الجانبية، ولتجنب حدوث تحنيب فتل جانبي للعنصر أو لجزء العنصر الواقع بين قيدي فتل لابد من تحقيق أحد علاقتي الترابط التاليتين:

* للعناصر ذات المقطع الثابت

$$\frac{F_c}{P_c} + \frac{\overline{M}}{M_b} \leq 1 \qquad (17\text{-}3)$$

* للعناصر متغيرة العطالة : في أي مقطع

$$\frac{F_c}{P_c} + \frac{M_{xi}}{M_{bi}} \leq 1 \qquad (17\text{-}4)$$

حيث :

F_c القوة المحورية المطبّقة على المقطع المدروس.

P_c طاقة التحمّل على الضغط وتُحدَّد وفقاً للفقرة (2-4) بناءً على الخصائص الهندسية للمقطع الأصغر اذا كان العنصر المدروس متغير العطالة مع حساب نسبة النحافة حول المحور الضعيف وفق العلاقة التالية

$$\lambda_{Tc} = y\,\lambda \quad , \quad \lambda = L_t / r_y \qquad (17\text{-}5a,b)$$

$$y = \left[\frac{1 + (2a/h_s)^2}{1 + (2a/h_s)^2 + 0.05\,(\lambda / x)^2} \right]^{1/2} \qquad (17\text{-}6)$$

حيث :

L_t المسافة بين قيدي الفتل.

r_y نصف قطر العطالة حول المحور الضعيف لأصغر مقطع.

h_s المسافة بين مركزي قص الجناحين لأصغر مقطع كما في الشكل (5-9).

x مؤشر الفتل لأصغر مقطع ويمكن أن يؤخذ مساوياً D/T أو يحسب وفقاً للعلاقة (6-9) حيث D كامل ارتفاع المقطع و T سماكة جناحه.

a المسافة بين المحور المرجعي للعنصر (A-A) وبين محاور القيود الجانبية (B-B) كما في الشكل (17-5).

M_{xi} عزم الانعطاف المطبّق على المقطع i.

M_{bi} العزم المقاوم لتحنيب الفتل الجانبي ويُحدَّد وفق احدى العلاقات (5-11,12,13,14) حسب تصنيف المقطع العرضي عند الموقع i. على أن تُحدَّد مقاومة الانعطاف p_b من الجدولين (5-7,8) وفقاً لنوع المقطع والمقاومة التصميمية p_y ونسبة النحافة المكافئة حول المحور الضعيف λ_{TB} التي تُحسَب وفق العلاقة التالية:

$$\lambda_{TB} = n_t\, u\, v_t\, c\, \lambda \qquad (17\text{-}7)$$

$$v_t = \left[\frac{4\,a/h_s}{1+(2\,a/h_s)^2 + 0.05\,(\lambda/x)^2} \right]^{½} \qquad (17\text{-}8)$$

c معامل الإستدقاق (تغير العطالة) ويحدد وفق احدى الحالتين التاليتين:

- للعناصر المستدقة

$$c = 1 + \frac{3}{x-9}\ (\frac{D_{max}}{D_{min}} \text{-}1)^{2/3} \qquad (17\text{-}9)$$

- للعناصر ذات الشطفات

$$c = 1 + \frac{3}{x-9}\ (\frac{D_h}{D_s})^{2/3}\ (\frac{L_h}{L_t})^{1/2} \qquad (17\text{-}10)$$

D_{min} , D_{max} ارتفاع المقطع الأكبر و ارتفاع المقطع الأصغر بين قيدي الفتل.

D_s الإرتفاع الشاقولي للمقطع بدون شطفة (الشكل 17-6)

D_h اللاإرتفاع الإضافي للشطفة (الشكل 17-6)

L_h الطول المتغير العطالة من الجزء المدروس بين قيدي الفتل.

u معامل التحنيب يأخذ بالحسبان نوع المقطع ومعامل وربه (warping) ويؤخذ مساوياً 0.9 للمقاطع المدرفلة (I و H ومجراية) ومساوياً 1.0 للمقاطع الأخرى، ويؤخذ دائماً مساوياً 1.0 للعناصر متغيرة العطالة.

n_t معامل تصحيح النحافة ويؤخذ مساوياً 1.0 عندما لايوجد حمولات مطبّقة بين القيود وإلا يُحدَّد وفق العلاقة التالية

$$n_t = \left\{ \frac{1}{12} \left[\frac{N_1}{M_1} + \frac{3\,N_2}{M_2} + \frac{4\,N_3}{M_3} + \frac{3\,N_4}{M_4} + \frac{N_5}{M_5} + 2\,(\frac{N_s}{M_s} \text{-} \frac{N_E}{M_E}) \right] \right\}^{½} \qquad (17\text{-}11)$$

$N_1 ,......, N_5$ قيم العزم المطبّق في بداية ونهاية ومنتصف ونقطتي ربع المسافة بين قيدي الفتل كما في الشكل (17-7). تؤخذ فقط القيم الموجبة لـ N وتعتبر موجبة عندما تنتج ضغطاً في الجناح غير المقيّد.

$M_1 ,......, M_5$ طاقة تحمّل العزم للمقاطع المطبّق عليها $N_1 ,......, N_5$ وتُحدَّد طاقة تحمّل العزم بتطبيق العلاقة التالية

$$M_i = p_y Z_{xi} \qquad (17\text{-}12)$$

حيث : Z_{xi} معامل المقطع المرن بالنسبة للجناح المضغوط

N_s / M_s تؤخذ الأكبر من N_i / M_i ، i=1,..,5

N_E / M_E تؤخذ الأكبر من N_1 / M_1 ، N_5 / M_5

تؤخذ بالحسبان القيم الموجبة فقط لـ $(\frac{N_s}{M_s} - \frac{N_E}{M_E})$

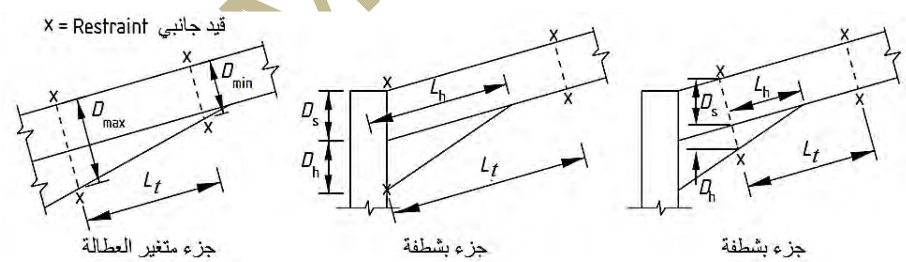
$\overline{M}$ عزم الانعطاف المنتظم المكافئ ويُحدَّد بالعلاقة التالية:

$$\overline{M} = m_t M_A \qquad (17\text{-}13)$$

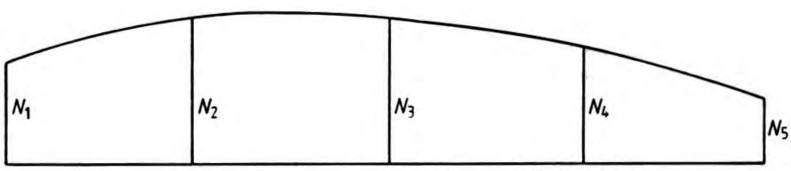
M_A العزم الأعظمي المطبّق على الجزء المدروس.

m_t معامل العزم المنتظم المكافئ ويؤخذ مساوياً 1.0 عندما يكون الجزء بين قيدي الفتل محمّلاً وإلا فيُحدَّد من الجدول (17-1) بدلالة y المحددة بالعلاقة (17-6) و β_t

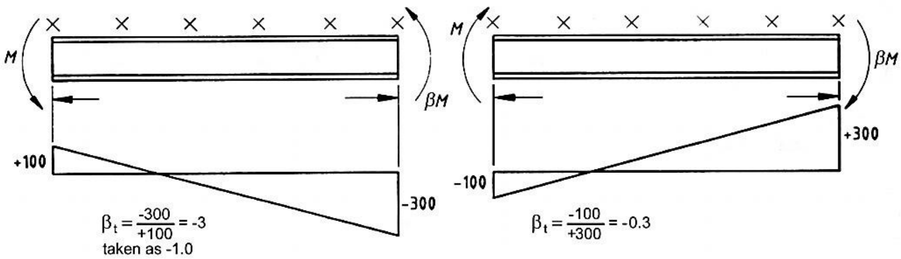
β_t نسبة العزم الأصغر جبرياً إلى العزم الأكبر اللذين يخضع لهما طرفي الجزء المدروس، ويُعتبَر العزم موجباً إذا كان يُنتِج ضغطاً في الجناح غير المقيد. انظر الشكل (17-8) . وتؤخذ $\beta_t = -1.0$ عندما $\beta_t < -1$



الشكل (17-6)



الشكل (17-7)



الشكل (17-8)

الجدول (17-1) Equivalent uniform moment factor, m_t

β_t \ γ	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
-1.0	1.00	0.76	0.61	0.51	0.44	0.39	0.35	0.31	0.28	0.26	0.24	0.22	0.21
-0.9	1.00	0.78	0.63	0.52	0.45	0.40	0.36	0.32	0.30	0.28	0.26	0.24	0.23
-0.8	1.00	0.80	0.64	0.53	0.46	0.41	0.37	0.34	0.32	0.30	0.28	0.27	0.26
-0.7	1.00	0.81	0.66	0.55	0.47	0.42	0.39	0.36	0.34	0.32	0.30	0.29	0.28
-0.6	1.00	0.83	0.67	0.56	0.49	0.44	0.40	0.38	0.36	0.34	0.33	0.32	0.31
-0.5	1.00	0.85	0.69	0.58	0.50	0.46	0.42	0.40	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34
-0.4	1.00	0.86	0.70	0.59	0.52	0.48	0.45	0.43	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37
-0.3	1.00	0.88	0.72	0.61	0.54	0.50	0.47	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.41
-0.2	1.00	0.89	0.74	0.63	0.57	0.53	0.50	0.48	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44
-0.1	1.00	0.90	0.76	0.65	0.59	0.55	0.53	0.51	0.50	0.49	0.49	0.48	0.48
0.0	1.00	0.92	0.78	0.68	0.62	0.58	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.52	0.52
0.1	1.00	0.93	0.80	0.70	0.65	0.62	0.59	0.58	0.57	0.57	0.56	0.56	0.56
0.2	1.00	0.94	0.82	0.73	0.68	0.65	0.63	0.62	0.61	0.61	0.60	0.60	0.60
0.3	1.00	0.95	0.84	0.76	0.71	0.69	0.67	0.66	0.65	0.65	0.65	0.64	0.64
0.4	1.00	0.96	0.86	0.79	0.75	0.72	0.71	0.70	0.70	0.69	0.69	0.69	0.69
0.5	1.00	0.97	0.88	0.82	0.78	0.76	0.75	0.75	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
0.6	1.00	0.98	0.91	0.85	0.82	0.81	0.80	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
0.7	1.00	0.98	0.93	0.89	0.87	0.85	0.85	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
0.8	1.00	0.99	0.95	0.92	0.91	0.90	0.90	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
0.9	1.00	1.00	0.98	0.96	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.94	0.94	0.94	0.94
1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

17-3 التصميم اللدن Plastic design

يسمح الكود BS 5950 باستخدام طرق التصميم اللدن في تصميم الجمل الإنشائية على أن تتحقق الشروط التالية:

* أن تكون الأحمال الساكنة هي المسيطرة.

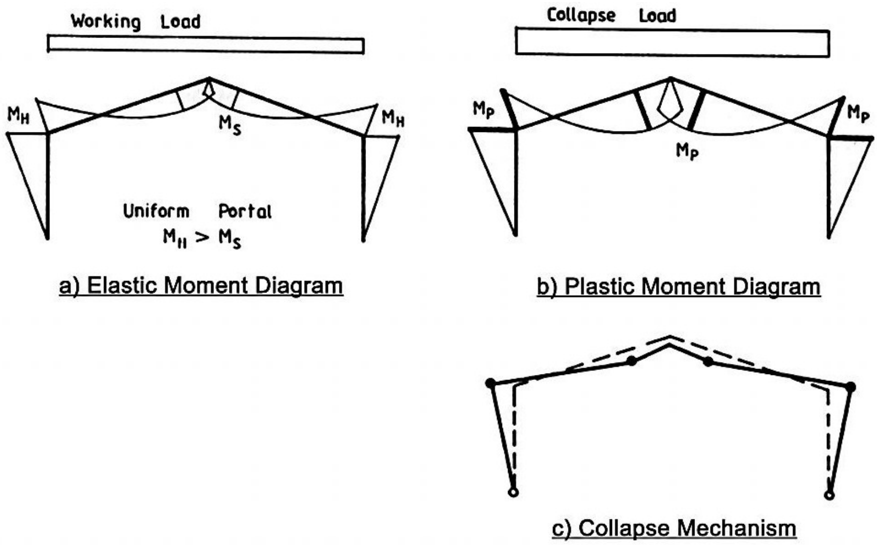
* أن يكون للفولاذ المستخدم عتبة سيلان تسمح بتشكيل مفاصل لدنة ودورانات تكفي لإعادة توزيع العزوم على كامل المنشأ (انظرالشكل 2-6a). ولهذا يجب أن لايقل التشوه الأعظمي عن عشرين مرة تشوه الخضوع.
* أن تكون مقاومة الشد القصوى أكبر بـ 20% على الأقل من إجهاد الخضوع.
* أن تكون المقاطع التي تتشكل فيها المفاصل اللدنة من النوع اللدن، أما بقية مقاطع المنشأ فيمكن أن تكون مدمجة.
* أن تكون المقاطع متناظرة حول محور متعامد مع محور دوران المفصل اللدن.
* أن يُزوَّد المنشأ بقيود فتل عند المفاصل اللدنة (وإذا لم يكن ذلك ممكناً فيجب أن لايبعد قيد الفتل أكثر من $D/2$ عن المفصل اللدن) وقيود فتل أخرى ضمن مسافات محددة من هذه المفاصل.
* يجب تصميم الشطفات بحيث لا يتشكل مفصل لدن فيها

17-3-1 التحليل اللدن للإطارات ذات المقاطع المنتظمة

لقد تم شرح أفكار ومبادئ التحليل اللدن في كثير من المراجع ومن أهمها كتاب "Plastic theory of structures" للمؤلف " M.R. Horne ". وسنقوم في هذا الفصل بشرح مبادئ التحليل لإطار متمفصل مع قاعدتيه تحت تأثير الأحمال الشاقولية وسنقدم منحنيات مساعدة لإيجاد توزع العزوم لحالات أخرى.

مع تزايد الأحمال الشاقولية يتشكل مفصل لدن في النقطة التي يصبح فيها العزم المرن أعظمياً (الركبة) كما في الإطار المبيّن في الشكل (17-9) وعندها تحدث دورانات في هذا المفصل ومع زيادة الأحمال يتصرف جائز الإطار وكأنه مسنود استناداً بسيطاً إلى أن يتشكل فيه مفصلان لدنان قرب ذروة الإطار حيث ينهار الجائز، ويبيّن الشكلان (17-9b,c) مخطط عزم الانعطاف اللدن وميكانيكية الانهيار. وبشكل عام فإن عدد المفاصل اللدنة الكافي لتحويل الإطار إلى ميكانيكية انهيار يزيد بواحد على عدد درجات عدم التقرير السكوني، فمثلاً يحتاج الإطار

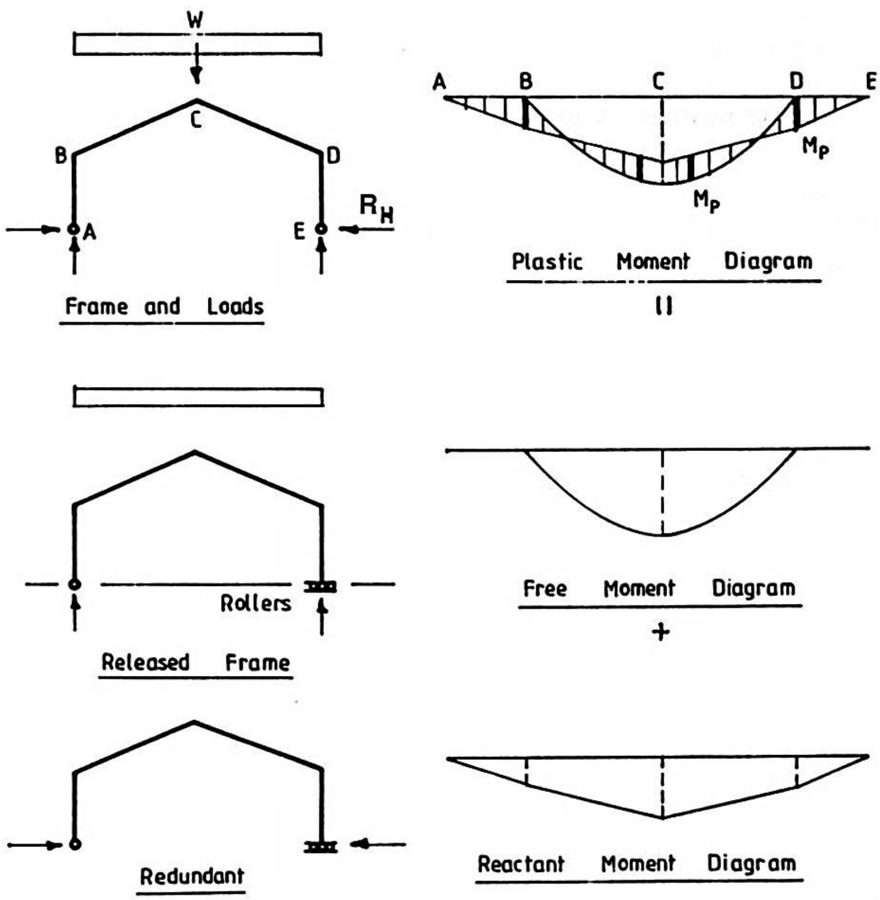
المتمفصل مع قاعدتيه إلى مفصلين لدنين تحت تأثير أحمال غير متناظرة لتشكيل ميكانيكية انهيار. وفي كل الأحوال يجب أن لاتزيد قيمة العزم في أي موقع في المنشأ عن قيمة العزم اللدن وتعتمد ميكانيكية الانهيار المتشكّلة على شكل الأحمال التي يتعرض لها المنشأ.



الشكل (17-9)

يتم التحليل اللدن للإطار المتمفصل مع قاعدتيه المبيّن في الشكل (17-10) وفق الخطوات التالية:

* يُحوَّل الإطار إلى مقرر سكونياً وذلك بتحويل أحد مسنديه إلى متدحرج.
* يُرسَم مخطط عزم الانعطاف الحر للإطار المقرر سكونياً تحت تأثير الأحمال الشاقولية.
* يُرسَم مخطط عزم الانعطاف الناتج عن ردّ الفعل الذي تم تحريره (قوة عدم التقرير).
* يُجمَّع مخططا عزم الانعطاف السابقان لينتج مخطط عزم الانعطاف اللدن فيتحول المنشأ أو جزءاً منه إلى ميكانيكية انهيار مشتملةً العدد الكافي من المفاصل اللدنة.



الشكل (17-10)

يُحدَّد موقع المفصل اللدن في الجائز قرب الذروة إما بالتقريب المتتالي أو رياضياً إذا كان الحمل موزّعاً بانتظام. وعليه يُحدَّد موقع المفصل X من الإطار المبيّن في الشكل (17-11a) بالعلاقة التالية:

$$g = h_1 + (2\,h_2/L)\,x \qquad (17\text{-}15)$$

ويُحدَّد عزم الانعطاف الحر عند المفصل X بالعلاقة التالية:

$$M_x = w\,L\,x/2 - w\,x^2/2 \qquad (17\text{-}16)$$

ويُحدَّد العزم اللدن عند المفصلين B , X بالعلاقة التالية:

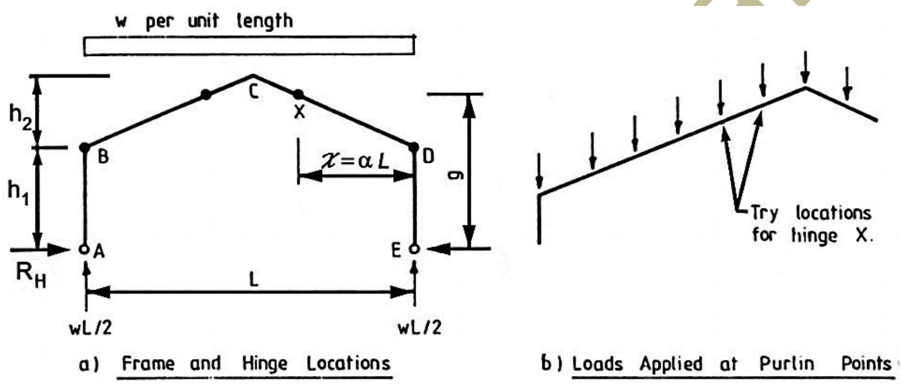
$$M_p = R_H\, h_1 = M_x - R_H\, g \qquad (17\text{-}17)$$

لتحديد R_H و M_p نضع $dR_H / dx = 0$ ونحدد x ونعوضه في العلاقة (17-17) فينتج:

$$M_p = \frac{W_r L}{8} \frac{1}{(1+k/2)+(1+k)^{1/2}} \qquad (17\text{-}18)$$

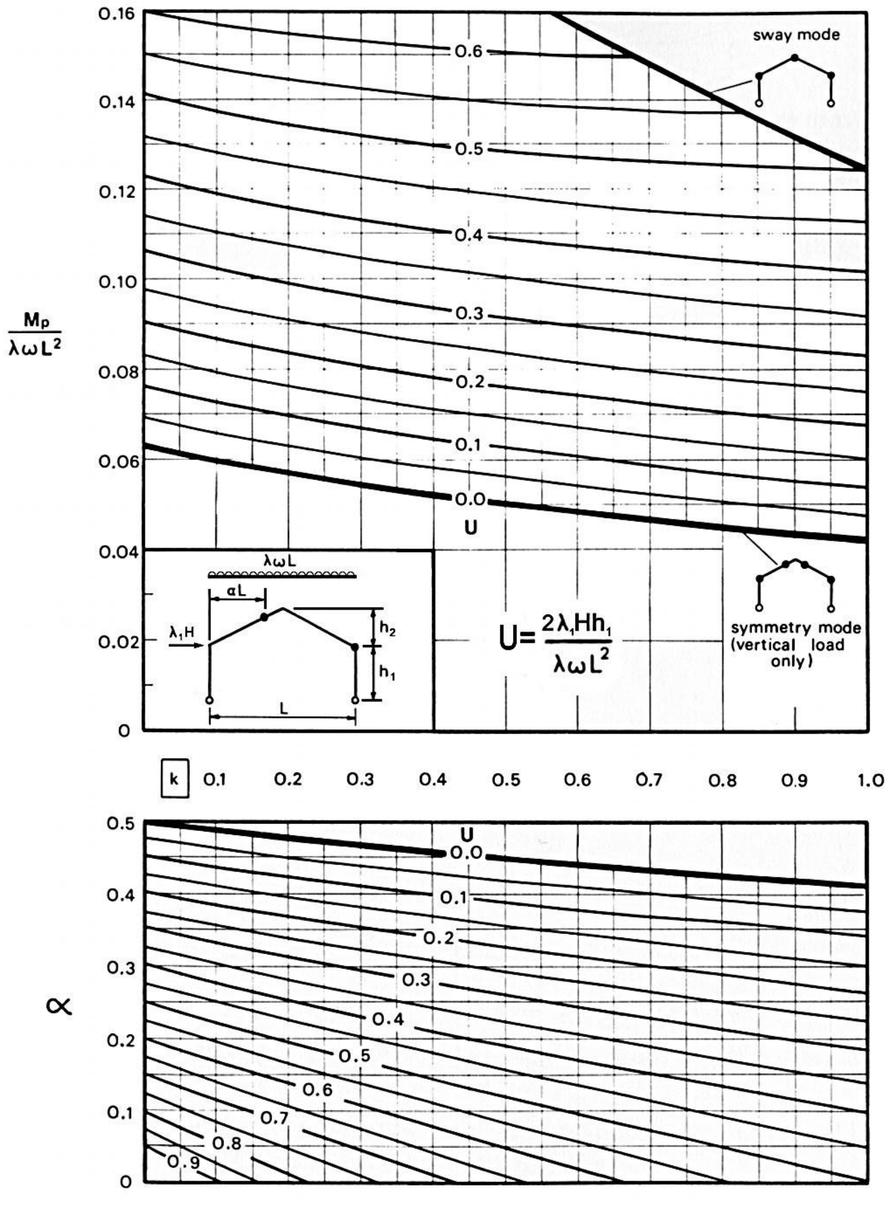
$$W_r = (1.4 w_d + 1.6 w_i) L \qquad (17\text{-}19)$$

حيث: $k = h_2 / h_1$ ، w_d , w_i موزعة على المسقط الأفق.

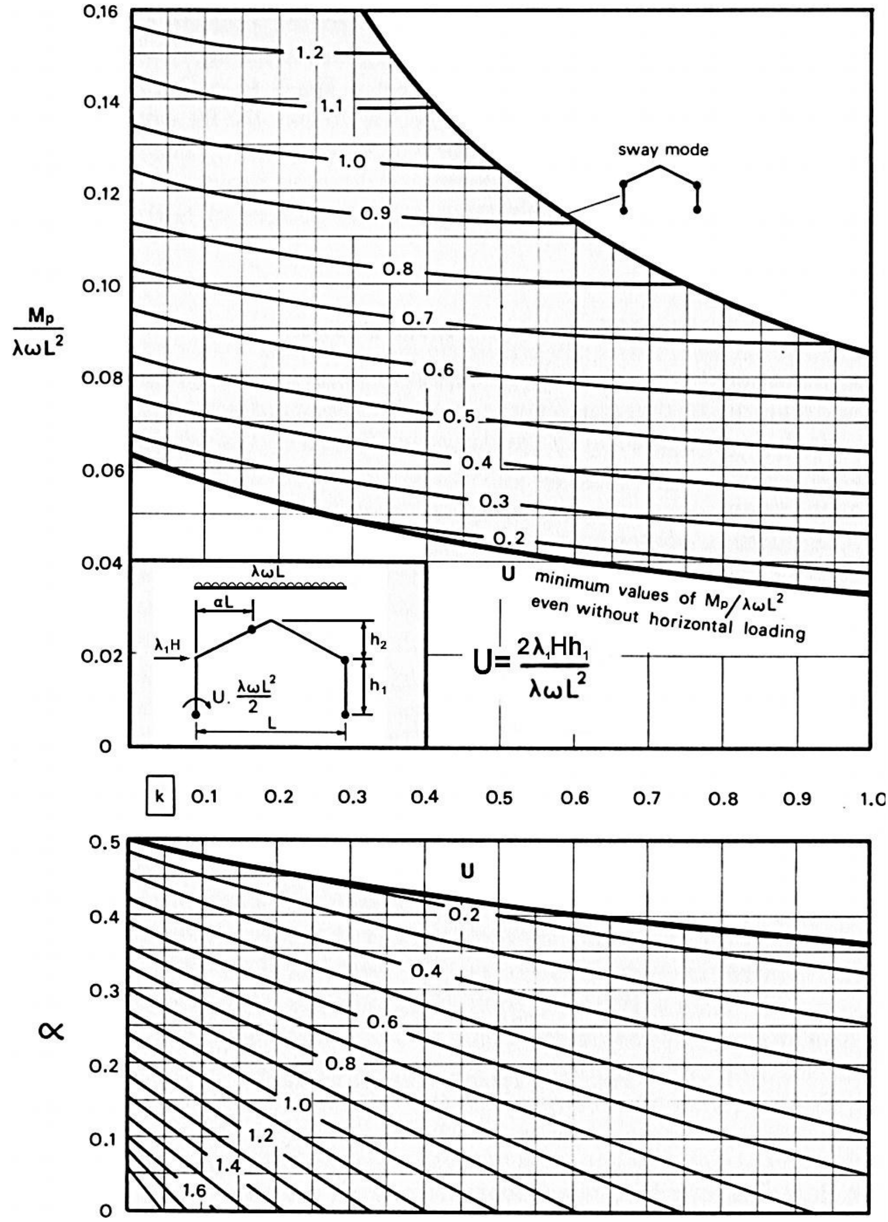


الشكل (17-11)

إذا اعتبرت أحمال الجائز مركّزة في نقاط استناد الجوائز الثانوية كما في الشكل (17-11b) فيتم تشكّل المفصل اللدن في الجائز تحت أحد الجوائز الثانوية القريبة من الذروة وعندها يُحدَّد موقع المفصل اللدن في المقطع الذي يحصل عنده أكبر عزم لدن M_p. ويبيّن الشكلين (17-12,13) ميكانيكيات الانهيار ومواقع المفاصل اللدنة في حالتي الإطار المتمفصل والموثوق مع قاعدتيه تحت أحمال شاقولية موزّعة بانتظام وأفقية مركّزة في الركبة وبدلالة النسبه $k = h_2 / h_1$.



الشكل (17-12) المنحني التصميمي للإطار المتمفصل مع قاعدتيه، $k = h_2 / h_1$



الشكل (17-13) المنحني التصميمي للإطار الموثوق مع قاعدتيه، $k = h_2 / h_1$

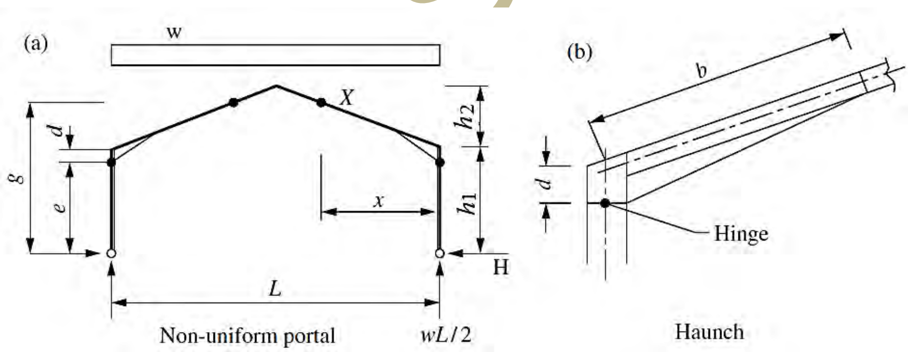
17-3-2 التحليل اللدن للإطارات غير المنتظمة والإطارات ذات الأكتاف
Plastic analysis of hunched and nonuniform frames

كما بينّا سابقاً تُزوَّد الإطارات بأكتاف (شطفات) عند نقطة اتصال الجائز مع العمود وعند ذروة الإطار بغية زيادة ذراع القوى في براغي الوصل. وتتسبب إضافة الكتف في منطقة الركبة بإبعاد المفصل اللدن عن الركبة وتشكّله في العمود أسفل الكتف وبالتالي تخفيض قيمة العزم اللدن، بينما لاتؤثر إضافة الشطفة في ذروة الإطار على قيمة العزم اللدن لأن المفصل اللدن يتشكّل بعيداً عن الذروة، انظر الشكل (17-14). ومن الضروري التأكد من بقاء مقطع الجائز في منطقة الشطفة في منطقة الركبة مرناً أي لايتجاوز الإجهاد المطبّق على المقطع في نهاية الشطفة مقاومته التصميمية أي:

$$F/A + M/Z \; < \; p_y \qquad (17\text{-}20)$$

حيث : M , F القوة المحورية والعزم المطبّقين على المقطع.

Z , A مساحة المقطع ومعامله المرن.



الشكل (17-14)

إن خطوات التحليل اللدن لإطار متمفصل مع قاعدتيه ومقطع جائزه أخفّ من مقطع عاموده ومزود بأكتاف هي ذات الخطوات المتّبعة في الفقرة (17-3-1) مع إضافة العلاقتين التاليتين بدلاً من العلاقة (17-17)

$$M_{pc} = R_H \, e \qquad (17\text{-}21)$$

$$M_{pb} = q\, M_{pc} = M_x - R_H \, g = q\, R_H \, e \qquad (17\text{-}22)$$

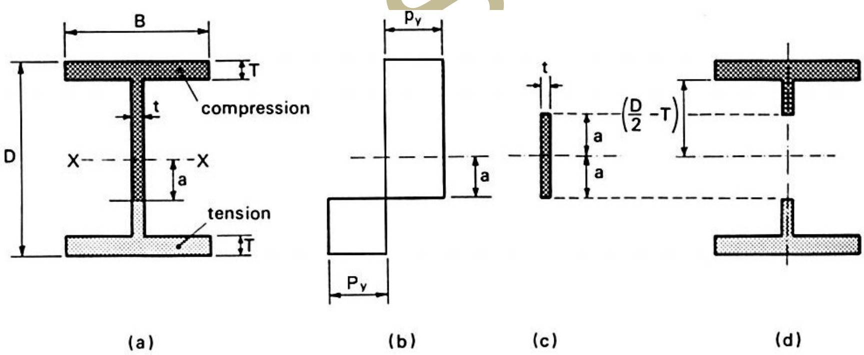
حيث: g , M_x يُحدَّدان بالعلاقتين (17-15) و (17-16)

M_{pc} , M_{pb} العزم اللدن الذي يتحمّله مقطع العمود ومقطع الجائز على الترتيب. و q معامل بين 0.7 – 0.6

لتحديد R_H و M_{pc} , M_{pb} نضع $dR_H / dx = 0$ ونحدد x ونعوضه في العلاقتين (17-21,22).

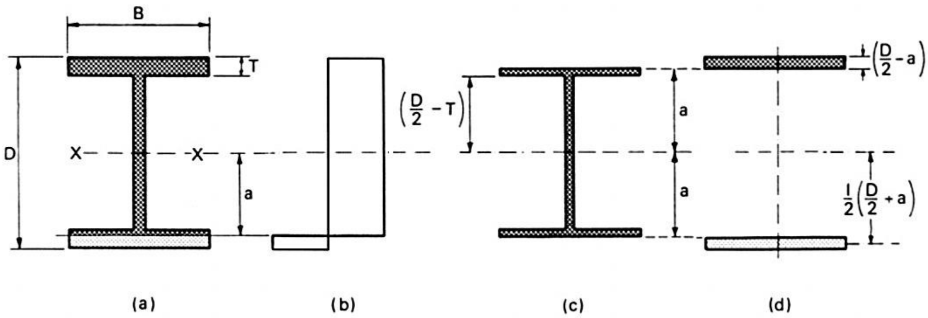
17-3-3 تصميم المقاطع Section design

تُخفض القوة المحورية المطبّقة العزمَ المقاوم اللدن للمقطع، فلو درسنا مقطعاً متناظراً على شكل I كالمبيّن في الشكل (17-15) فإن العزم المقاوم اللدن للمقطع ينخفض من M_{px} إلى M_{prx} عندما يتعرض إلى قوة محورية F ويتحرك المحور السليم إلى الأسفل مبتعداً عن مركز ثقل المقطع.



الشكل (17-15)

عندما تكون F صغيرة يقع المحور السليم في الجسد كما في الشكل (17-15b) ولكن عندما تكون F كبيرة فإن المحور السليم يقع في الجناح كما في الشكل (17-16b).



الشكل (17-16)

لإيجاد العلاقة بين القوة المحورية F والعزم المقاوم اللدن للمقطع M_{prx} يُقسَم المقطع العرضي إلى منطقة مركزية مبيّنة في الشكلين (17-15c) و (17-16c) تخضع إلى إجهادات ضاغطة وإلى منطقتين أخريين متناظرتين خارج المنطقة المركزية مبيّنتين في الشكلين (17-15d) و (17-16d) تخضع إحداهما إلى إجهادات ضغط والأخرى إلى إجهاد شدّ. يمكن النظر إلى المنطقة المركزية على أنها تقاوم القوة المحورية F وإلى المنطقتين الخارجيتين على أنهما تقاومان العزم M_{prx} وبناءً على ذلك يمكن كتابة العلاقتين التاليتين عندما تكون F صغيرة:

$$F = 2\,a\,t\,p_y \qquad (17\text{-}23)$$

$$M_{prx} = M_{px} - t\,a^2\,p_y \qquad (17\text{-}24)$$

مع ملاحظة أن الرموز المستخدمة في هاتين العلاقتين مبيّنة على الشكل (17-15). فإذا كانت طاقة تحمّل المقطع للقوى المحورية $P_p = A\,p_y$ دون حصول تحنيب وعرّفنا النسبة بين القوة المطبّقة وطاقة التحمّل $n = F / P_p$ يمكننا تحديد المنطقة المركزية من العلاقة (17-23) كما يلي:

$$a = n\,A / (2\,t) \qquad (17\text{-}25)$$

نعوض هذه العلاقة في العلاقة (17-24) فنجد:

$$M_{prx} = S_{rx}\,p_y \qquad (17\text{-}26)$$

$$S_{rx} = S_x - (A^2/4\,t)\,n^2 \qquad (17\text{-}27)$$

تبقى العلاقة (17-27) صحيحة مادام المحور السليم ماراً من جسد المقطع أي:

$$a \le D/2 - T \qquad (17\text{-}28)$$

نعوض (17-25) في هذه العلاقة فينتج:

$$n \le n_1 = (D - 2\,T)\, t / A \qquad (17\text{-}29)$$

أما عندما تكون F كبيرة يقع المحور السليم في جناح المقطع وعندها تُحدَّد F و M_{prx} بالعلاقتين التاليتين:

$$F = [\, A - 2\,(D/2 - a)\, B \,]\, p_y \qquad (17\text{-}30)$$

$$M_{prx} = \left[(D/2 - a)\, B\, p_y \right] (D/2 + a) \qquad (17\text{-}31)$$

بتعويض النسبة $n = F / P_b$ في العلاقة (17-30) نجد:

$$a = 0.5\, [\, D - (1 - n)\, A/B \,] \qquad (17\text{-}32)$$

نعوض هذه العلاقة في العلاقة (17-31) فينتج:

$$M_{prx} = S_{rx}\, p_y \qquad (17\text{-}33)$$

$$S_{rx} = \frac{A^2}{4\,B}\,(1 - n)\,\left(\frac{2\,BD}{A} - 1 + n\right) \qquad (17\text{-}34)$$

بذات الطريقة يمكن إيجاد العزم المقاوم اللدن لمقطع I حول محوره الضعيف $(y - y)$ ، انظر الشكل (17-17). فإذا وقع المحور السليم في جسد المقطع فإن:

$$F = 2\, a\, D\, p_y \qquad (17\text{-}35)$$

$$a = n\, A / 2\, D \qquad (17\text{-}36)$$

$$M_{pry} = S_{ry}\, p_y \qquad (17\text{-}37)$$

$$S_{ry} = S_y - (A^2 / 4\, D)\, n^2 \qquad (17\text{-}38)$$

تبقى العلاقة (17-38) صحيحة مادام المحور السليم مارّا في جسد المقطع أي:

$$a \le t/2 \;\Rightarrow\; n \le n_2 = D\, t / A \qquad (17\text{-}39)$$

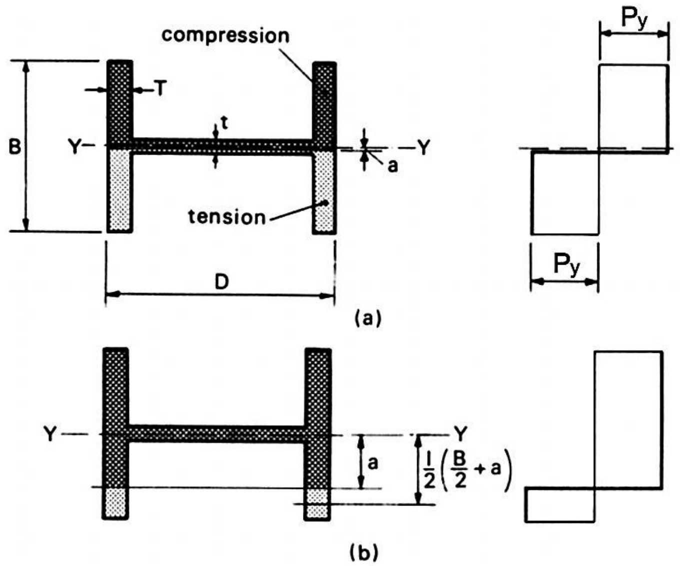
أما إذا وقع المحور السليم خارج جسد المقطع فإن:

$$F = [\, A - 4\, T\, (B/2 - a)\,]\, p_y \qquad (17\text{-}40)$$

$$a = 0.5\left[B - (1-n) A / 2T \right] \qquad (17\text{-}41)$$

$$M_{pry} = S_{ry}\ p_y \qquad (17\text{-}42)$$

$$S_{ry} = \frac{A^2}{8T}\ (1-n)\ (\frac{4TB}{A}\ -1+n) \qquad (17\text{-}43)$$

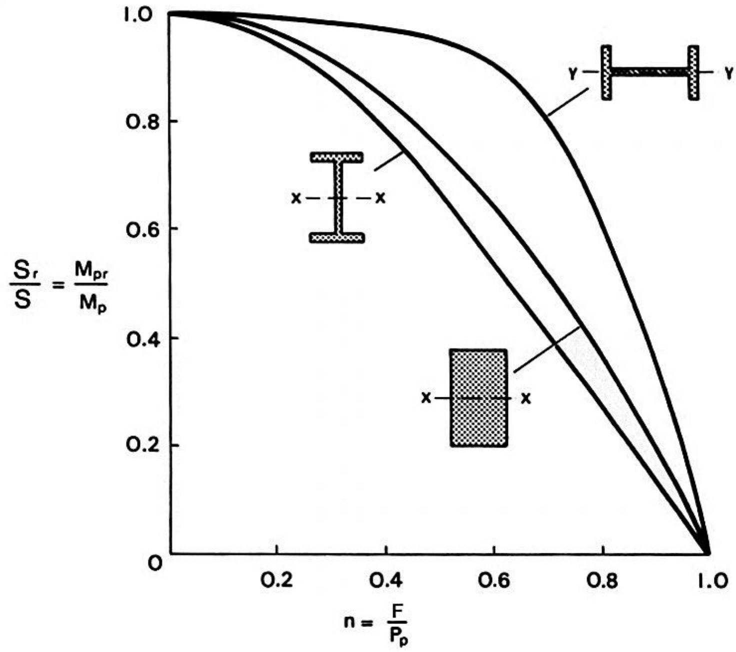


الشكل (17-17)

بذات الطريقة من السهل أن نبيّن أنه من أجل مقطع مستطيل فإن معامل المقطع اللدن المخفّض يعطى بالعلاقة التالية:

$$S_r = S\ (1-n^2) \qquad (17\text{-}44)$$

يبيّن الشكل (17-18) تغيير S_r بدلالة n للمقاطع المستطيلة وللمقاطع على شكل I



الشكل (17-18)

تُحدَّد جداول الشركات المصنّعة للمقاطع القياسية كل من n_1 و n_2 وكذلك S_{rx} و S_{ry} بدلالة n ويمكن استخدام العلاقات المبسّطة التالية:

$$S_r = \bar{\alpha}\, S \qquad (17\text{-}45)$$

التي لاتبتعد أكثر من 2% من القيم المدونة في جداول الشركات المصنّعة حيث تُحدَّد $\bar{\alpha}$ من الجدول (17-2)

الجدول 17-2

نوع المقطع	الانعطاف حول المحور $x-x$		الانعطاف حول المحور $y-y$	
قياسي UB (I)	$0 \le n \le 0.1$ $\bar{\alpha} = 1$	$0.1 < n \le 1$ $\bar{\alpha} = 0.27\,(1-n)\,(4+n)$	$0 \le n \le 0.3$ $\bar{\alpha} = 1$	$0.3 < n \le 1$ $\bar{\alpha} = 2.04\,(1-n)\,(0.4+n)$
قياسي UC (H)	$0 \le n \le 0.1$ $\bar{\alpha} = 1$	$0.1 < n \le 1$ $\bar{\alpha} = 0.156\,(1-n)\,(7+n)$	$0 \le n \le 0.2$ $\bar{\alpha} = 1$	$0.2 < n \le 1$ $\bar{\alpha} = 1.56\,(1-n)\,(0.6+n)$

17-3-4 الاستقرار الجانبي Sway stability

يتم تحقيق استقرار الإطار في مستويه وفق المنهجية المبينة أدناه إذا حققت كل فتحة في الإطار الشروط البعدية التالية:

- لا تزيد فتحة الإطار L عن خمس مرات الارتفاع الوسطي للعمود h.
- لا يزيد ارتفاع ذروة الإطار h_r فوق أعلى العمود على $0.25L$
- إذا كان جائز الإطار غير متناظر يجب أن تحقق h_r العلاقة التالية:

$$(h_r / s_a)^2 + (h_r / s_b)^2 \le 0.5$$

حيث L , h_r , s_a , s_b مبينة في الشكل (17-19)

في حال حقق الإطار الشروط السابقة يجب أن لايزيد الانتقال الأفقي الناجم عن القوى الميتة و الحية والاسمية المحددة في الفقرة (2-1-1) في أعلى العمود عن $h/1000$ حيث h ارتفاع العمود، على أن يحسب هذا الانتقال وفقاً للتحليل المرن. ويمكن اعتبار هذا الشرط محققاً إذا تحققت العلاقة التالية:

$$\frac{L_b}{D} \le \frac{44}{\Omega}\,\frac{L}{h}\left(\frac{\rho}{4+\rho\,L_r/L}\right)\left(\frac{275}{p_{yr}}\right) \qquad (17\text{-}46a)$$

حيث: L_b المجاز الفعال ويحدد بالعلاقة التالية:

$$L_b = L - \left(\frac{2D_h}{D_s + D_h}\right)L_h \qquad (17\text{-}46b)$$

$$L_r = L/\cos\theta \quad , \quad \Omega = W_r / W_o$$

$\rho = (2I_c / I_r)\ (L/h)$ لإطار بفتحة واحدة

$\rho = (I_c / I_r)\ (L/h)$ لإطار بعدة فتحات

p_{yr} المقاومة التصميمية لجائز الإطار.

L مجاز الإطار و h الارتفاع الوسطي لعمود الإطار و D ارتفاع المقطع العرضي لجائز الإطار و L_h طول المسقط الأفقي للشطفة

D_s الإرتفاع الشاقولي لجائز الإطار، D_h و L_h الإرتفاع الإضافي للشطفة وطولها، انظر الشكل (17-20).

I_c عزم عطالة مقطع العمود الذي يقاوم الانعطاف في مستوي الإطار ويؤخذ مساوياً الصفر إذا لم يكن اتصال العمود بالجائز صلباً .

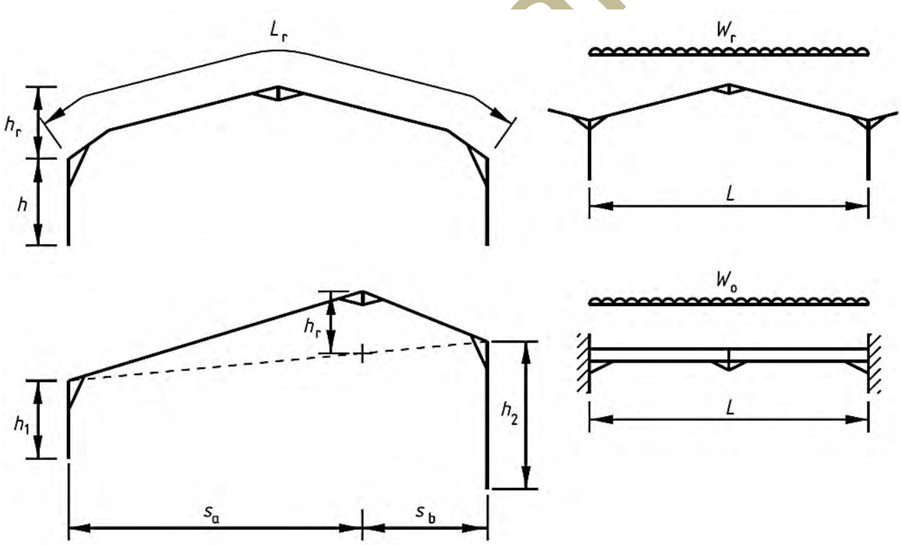
I_r عزم عطالة مقطع الجائز الذي يقاوم الانعطاف في مستوي الإطار.

W_r مجموع الأحمال الشاقولية المصعّدة المطبّقة على جائز الإطار ويُحدَّد وفقاً للعلاقة (17-19).

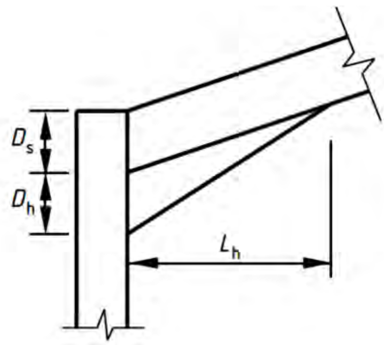
W_o القيمة العظمى للأحمال الشاقولية التي تسبب انهياراً لدناً لجائز الإطار باعتبار مجازه L وموثوق عند طرفيه ويساوي $16 M_{pb} / L$.

L_r الطول الكلي لجائز الإطار , θ زاوية ميل جائز الإطار على الأفق.

إذا اختلف العمودان أو الجائزان في نفس الفتحة فيُؤخذ متوسط I_c / I_r. وإذا اختلفت الشطفتان في طرفي فتحة من الإطار فيُؤخذ متوسط L_b .



الشكل (17-19)



الشكل (17-20)

بعد تحقق شرط الإنزياح الجانبي $h_i/1000$ تحت تأثير أحمال الثقالة يتم تحديد عامل التصعيد λ_r المطلوب من أجل استقرار الإطار تحت تأثير حالات التحميل التي تشتمل على أحمال أفقية باستخدام العلاقة التالية:

$$\lambda_r = \frac{\lambda_{sc}}{\lambda_{sc}-1}, \qquad \lambda_{sc} = \frac{h_i}{200\delta_i}$$

حيث: h_i ارتفاع العمود، δ_i الانتقال الأفقي الإسمي الناتج عن حالة التحميل المحددة. اذا كانت $\delta_i < 5$ فلا بد من اجراء تحليل من الدرجة الثانية.

شريط ألاّ يتعرض الإطار إلى أحمال روافع أو أي أحمال اكبر من أحمال الجوائز الثانوية فإنه يمكن تحديد λ_{sc} بشكل تقريبي بالعلاقة التالية:

$$\lambda_{sc} = \frac{220DL}{\Omega h L_b}\left(\frac{\rho}{4+\rho\, L_r/L}\right)\left(\frac{275}{p_{yr}}\right)$$

أذا انتجت أحمال الرياح قوى محورية شادة في الجوائز والأعمدة فيُؤخذ عامل التصعيد $\lambda_r = 1$.

يجب أن يحقق جائز الفتحة الداخلية للإطار المكون من اكثر من فتحتين وطابق واحد العلاقة التالية:

$$\frac{L_b}{D} \le \frac{22(4+\mathrm{L/h})}{4(\Omega-1)}\left(1+\frac{I_c}{I_r}\right)\left(\frac{275}{p_{yr}}\right)\tan 2\theta$$

لا يوجد حدود على L_b/D عندما $\Omega < 1$

17-3-5 القيود واستقرار العناصر Restraints and member stability

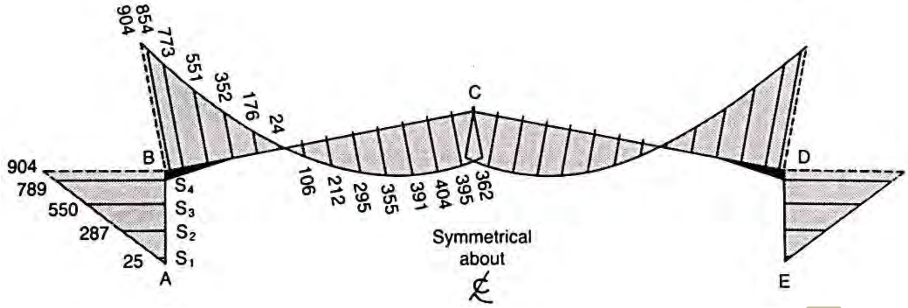
عند استخدام طرائق التصميم اللدن تتغير إلى حد ما الاشتراطات المفروضة لضمان استقرار العناصر حيث لم يعد كافياً التأكد من تحمّل العناصر للعزم وقوة الضغط المحورية المطبقين بأمان بل يجب أن تكون العناصر قادرة على تحمّل العزم المطلوب بوجود قوة الضغط مع حدوث دورانات كبيرة كافية لحدوث ميكانيكية انهيار في الإطار. وعليه يجب تزويد عناصر الإطار بقيود لضمان مايلي:

* إمكانية تشكّل مفاصل لدنة في المقاطع العميقة ذات الشكل I. فعدم تشكّل المفاصل اللدنة سيمنع تشكّل ميكانيكية الانهيار التي هي أساس التصميم.
* عدم حصول تحنيب كلي لعمود أو لجائز الإطار حول المحور الضعيف.
* عدم حصول تحنيب فتل جانبي للجناح المضغوط عندما يكون غير مقيد.

يبين الشكل (17-21) مخططاً نموذجياً لعزوم انهيار إطار متمفصل مع قاعدتيه تحت تأثير الأحمال الشاقولية (ميتة + حية) ولقد تم اعتبار العمود أثقل من الجائز وطول الشطفة يساوي 10% من مجاز الإطار وارتفاع المقطع مع الشطفة عند الركبة يساوي ضعف ارتفاع مقطع الجائز. كما تم اعتبار أن الجوائز الثانوية وسكك الجدران تؤمّن مساند جانبية للجناح الخارجي للجائز والعمود.

يمكن تمييز أربع مناطق في الإطار يجب تأمين استقرارها وهي:

- ارتفاع العمود الكامل AB .
- منطقة الشطفة حيث يجب أن تبقى مرنة على كامل طولها.
- الجائز عند نهاية الشطفة حيث الجناح السفلي غير مقيّد ويخضع لضغط نتيجة العزم.
- منطقة ذروة الإطار بين قيدي الجناح العلوي المضغوط.



الشكل (17-21)

كما يبين الشكل (17-22) مخططاً توضيحياً للعمود AB مبيناً عليه التدعيم المؤمّن بواسطة سكك الجدران إضافة للعزم المطبّق على طول العمود.

كما بيّنا سابقاً أن الاستقرار يجب أن يبقى مؤمّناً إلى أن يتحول المنشأ إلى ميكانيكية انهيار، وباعتبار أنه سيتشكّل مفصل لدن في العمود عند أسفل الشطفة لذلك يشترط الكود BS 5950 تأمين قيد فتل للعمود ضمن مسافة لاتزيد عن $D/2$ من موقع المفصل، حيث D ارتفاع مقطع العمود. يمكن تأمين هذا القيد بشكل سهل عن طريق سكة الجدار كما في الشكل (17-4). كما يجب تأمين استقرار جزء العمود المجاور للمفصل اللدن وذلك بتنفيذ قيد فتل ثاني (مثلاً عند السكة S_3 في الشكل 17-22) يبعد مسافة L_m من قيد الفتل الأول وتُحدَّد هذه المسافة وفق إحدى الحالتين التاليتين:

* عندما لاتؤخذ قيود الجناح المشدود بالحسبان

$$L_m = \frac{38\, r_y}{\left[\left(f_c / 130 \right) + \left(p_y / 275 \right)^2 \left(x / 36 \right)^2 \right]^{1/2}} \qquad (17\text{-}47)$$

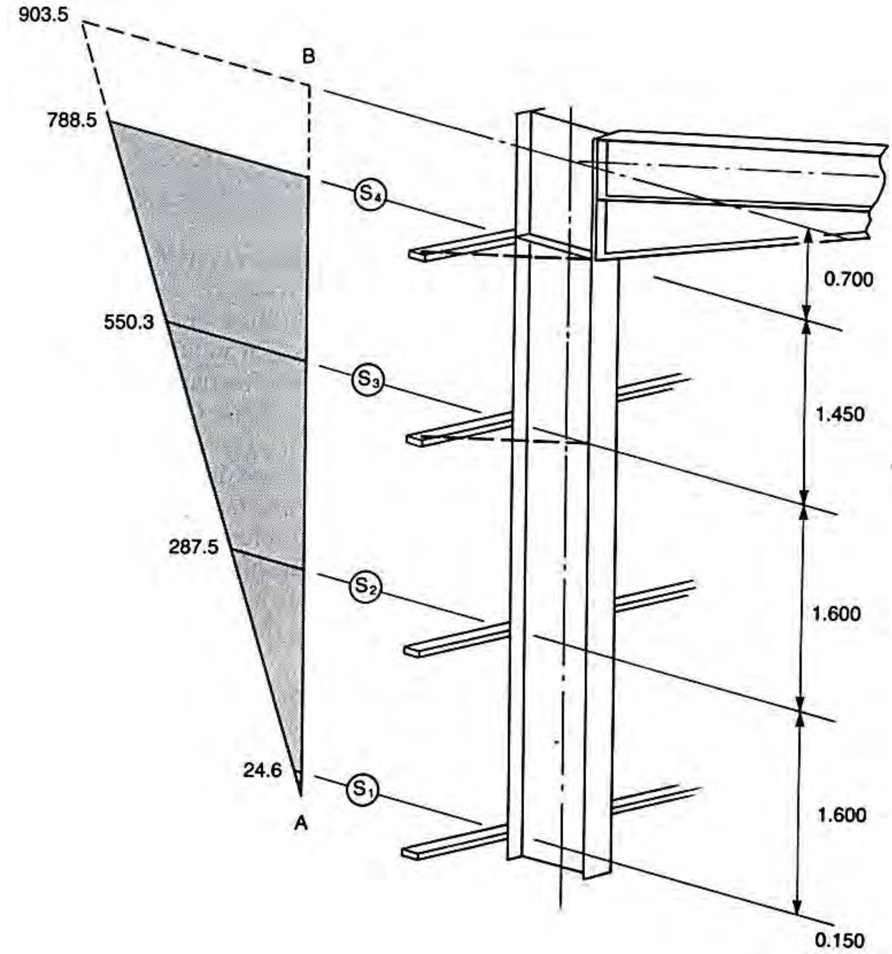
حيث: f_c إجهادات الضغط الناجمة عن القوة المحورية.

r_y نصف قطر عطالة المقطع حول المحور الضعيف وعندما يكون للمقطع جناحين غير متساويين تؤخذ r_y إما للمقطع ككل أو للجناح المضغوط أيهما أصغر.

x مؤشر الفتل.

عندما يكون العنصر متغير العطالة ضمن الطول L_m تؤخذ القيمة الصغرى لـ r_y والقيمة العظمى لـ x.

* عند أخذ قيود الجناح المشدود بالحسبان تُطبَّق العلاقتان (17-48,49) مع أخذ K_1 مساوية الواحد.



الشكل (17-22)

بعد إضافة قيود الفتل للعمود يُحدَّد طول العمود الفعّال حول المحور القوي كما جاء في الفقرة (17-2-1) أو يُحدَّد بالمسافة بين المفصل اللدن وقاعدة العمود كما جاء في بعض المراجع الأخرى. ويُحدَّد الطول الفعّال حول المحور الضعيف بالمسافة بين

قيدي الفتل S_3 و S_4 كما في الشكل (17-22) أو بالمسافة بين قيد الفتل S_3 وقاعدة العمود.

بشكل مشابه يتم تأمين استقرار الجائز في منطقة الركبة إما بعدم أخذ قيود الجناح المشدود بالحسبان وتُحدَّد عندها المسافة L_s من الركبة إلى أول قيد للجناح المضغوط (انظر الشكل 17-23) بتطبيق العلاقة (17-47) أو بأخذ قيود الجناح المشدود بالحسبان فتُحدَّد المسافة المذكور L_s بالعلاقتين التاليتين:

* للفولاذ ماركة S275

$$L_s = \frac{620\, r_y}{K_1\left(72 - (100/x)^2\right)^{1/2}} \qquad (17\text{-}48)$$

* للفولاذ ماركة S355

$$L_s = \frac{645\, r_y}{K_1\left(94 - (100/x)^2\right)^{1/2}} \qquad (17\text{-}49)$$

حيث : x , r_y كما تم تعريفهما في العلاقة (17-47) ويُحدَّد المعامل K_1 من الجدول (17-3)

الجدول (17-3)

D_h / D_s	K_1
0	1
1	1.25
2	1.4

وعموماً من أجل أي شطفة يمكن تحديد K_1 من العلاقة التالية:

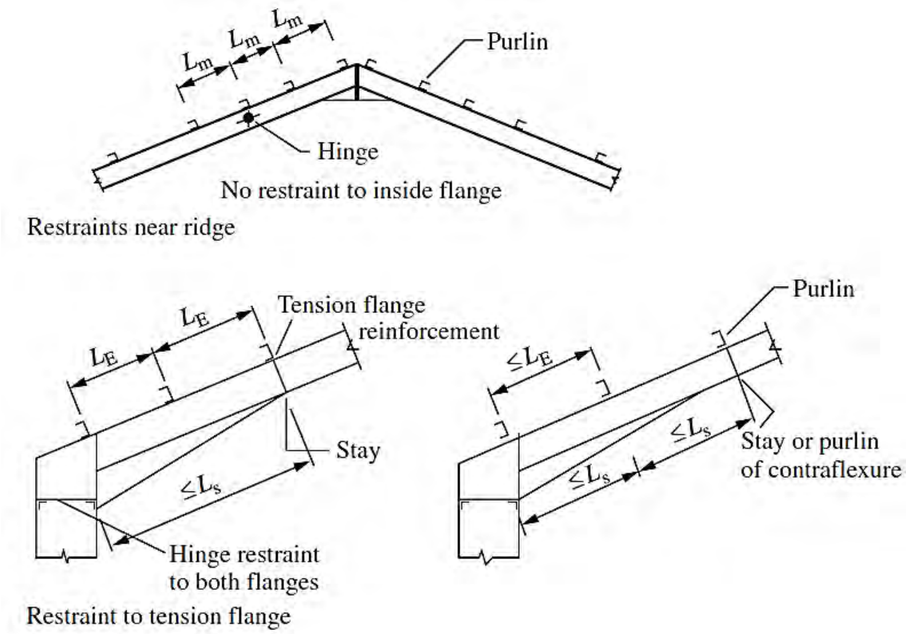
$$K_1 = 1 + 0.25 (D_h / D_s)^{2/3}$$

وفقاً للكود يخضع تطبيق العلاقتين (17-48,49) للشروط التالية:

- أن يكون المقطع العرضي على شكل I محققاً $D/B \geq 1.2$ ، حيث B, D ارتفاع المقطع وعرض جناحه على الترتيب.
- لايزيد ارتفاع الشطفة D_h على مرتين ارتفاع الجائز D_s.

- لايقل عرض جناح الشطفة عن عرض جناح الجائز.

وبشكل عام يُعتبَر تأمين قيد فتل عند رأس الشطفة عملاً جيداً لأن حامل قوى الضغط في الجناح السفلي يتغير في هذا الموقع.



الشكل (17-23)

لا حاجة لتأمين قيد فتل لتأمين استقرار جائز الإطار عند المفصل اللدن قرب الذروة لأن الجناح المشدود يقع في الأسفل ولكن يجب تأمين جائز ثانوي عند أو قرب المفصل اللدن وتأمين جائزين ثانويين لسند الجناح المضغوط يبعد كل منهما مسافة لا تزيد عن L_m من المفصل كما في الشكل (17-23) حيث تحدد L_m بالعلاقة (17-47).

17-3-6 تصميم وصلة الركبة Design of eaves joint

يبين الشكل (17-24) شكلاً من أشكال وصلة الركبة، ونبين فيمايلي خطوات تصميم هذه الوصلة:

* حساب القوى في الوصلة:

بأخذ عزوم القوى المطبّقة على الوصلة عند النقطة X نجد قوة الشد T في صفي البراغي العلويين.

$$V\,d/2 - M_{pc} + Ta = 0 \;\Rightarrow\; T = (M_{pc} - V\,d/2)/a \qquad (17\text{-}50)$$

* تُحدَّد قوة الضغط C التي يؤثر بها جناح الشطفة السفلي على الوصلة بالإسقاط على محور أفقي.

$$C = T + H \qquad (17\text{-}51)$$

* ومنه تُحدَّد قوة الضغط في جناح الشطفة.

$$F = C/\cos\phi \qquad (17\text{-}52)$$

* حساب القوى في البراغي

تحتوي الوصلة المبينة في الشكل على أربعة صفوف من البراغي وكل صف يحتوي على برغيين وعليه تُحدَّد قوة الشد وقوة القص في البرغي الواحد كمايلي:

$$F_t = T/4 \quad , \quad F_s = V/8 \qquad (17\text{-}53a,b)$$

* تحقيق صفيحة نهاية الشطفة وجناح العمود

يبين الشكل (17-24b) أشكال خطوط الانهيار في أحد ألواح صفيحة النهاية أو جناح العمود. يُحدَّد العمل W_e الذي تقوم به قوة الشد في البرغي بالعلاقة التالية:

$$W_e = T\,\theta\,b/8 \qquad (17\text{-}54)$$

ويُحدَّد العمل W_i الذي تقوم بها العزوم عند خطوط الانكسار.

$$W_i = 4\,m\,\theta\,(c+e) - m\,v\,\theta\,(1+\cos\phi) + (m\,b/c)\,(b - 0.5\,v\sin\phi)\,\theta \qquad (17\text{-}55)$$

بمساواة معادلتي العمل السابقتين تنتج قيمة العزم اللدن m في واحدة الطول. مع العلم أن كافة الرموز مبينة على الشكل (17-24). وتُحدَّد السماكة الدنيا لصفيحة النهاية أو لجناح العمود بتطبيق العلاقة (5-2) فينتج:

$$t = (4\,m/p_y)^{1/2} \qquad (17\text{-}56)$$

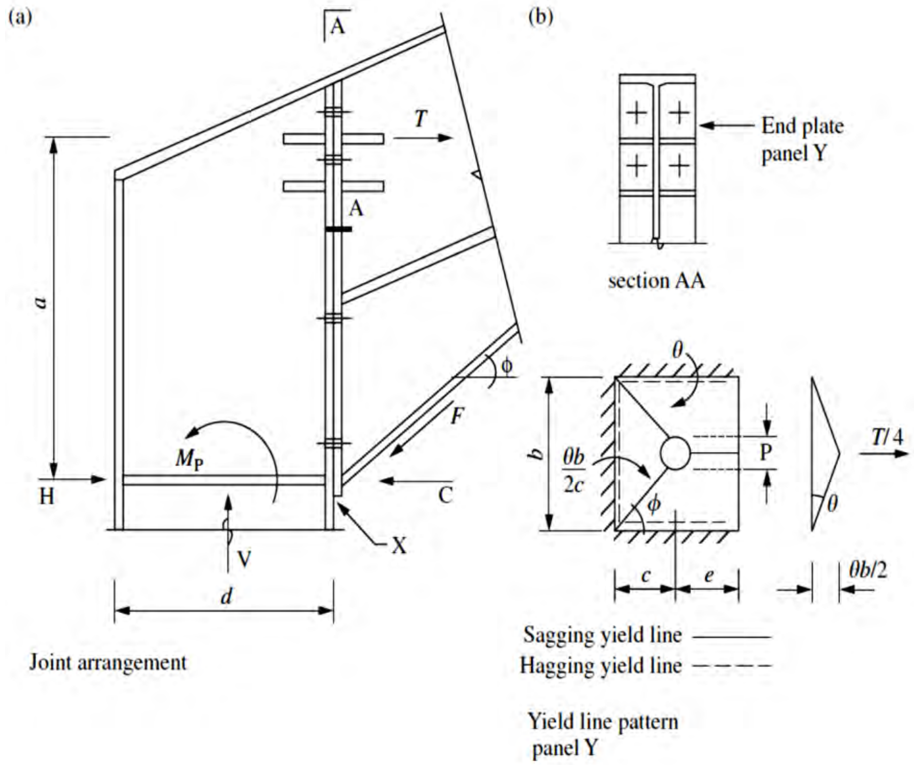
* كما يجب تحقيق مايلي:

– جناح الشطفة $\qquad F \le p_y$ x (مساحة جناح الشطفة)

– مدعّمة العمود عند أسفل الشطفة لتتحمل القوة C

– جسد العمود وجسد الجائز تحت تأثير القوة T واعتبار المدعّمات الصغيرة عند توزيع القوة.

– اللحام بين صفيحة النهاية والجائز وكذلك اللحام حول كل المدعّمات.



الشكل (17-24)

17-3-7 تصميم وصلة الذروة Design of ridge joint

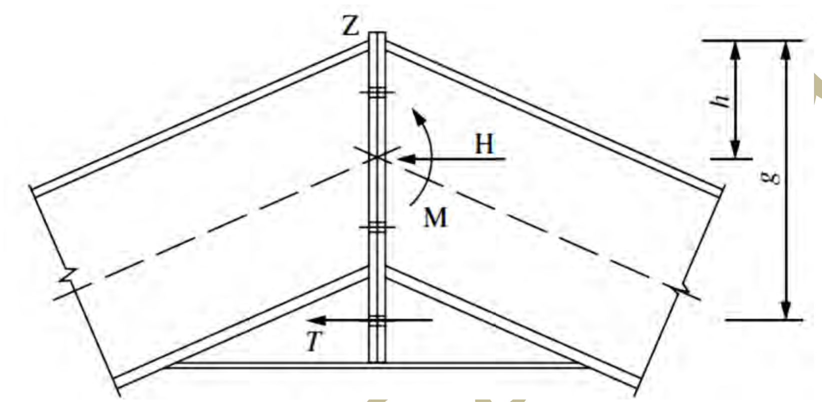
يبين الشكل (17-25) شكلاً من أشكال وصلة الذروة.

* تحسب القوة T في صف البراغي السفلي بكتابة معادلة توازن العزوم حول Z فينتج:

$$T = (M - Hh)/g \qquad (17\text{-}57)$$

حيث : M و H العزم والقوة الأفقية عند الذروة وبقية الرموز موضّحة على الشكل (17-25).

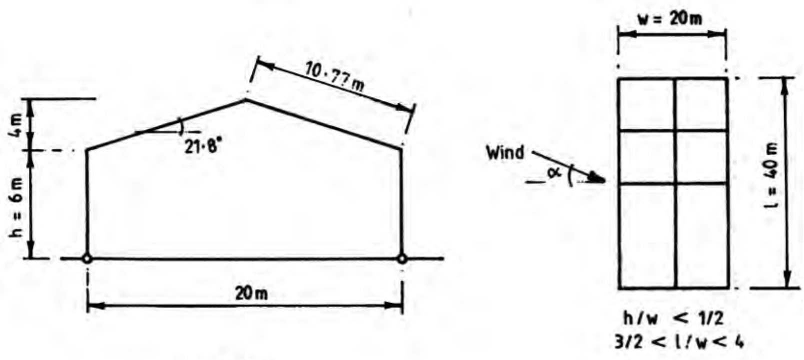
تُدرَس تحقيقات الوصلة كما في وصلة الركبة.



الشكل (17-25)

مثال (17-1)

سيتم إشادة مبنى صناعي فولاذي من طابق واحد بمساحة 20×40 وبارتفاع صافي قدره 6m في مدينة صغيرة سرعة الرياح الأساسية فيها 45 m/s. تم اختيار الجملة الإنشائية للبناء من إطارات بابية كما هو مبين في الشكل أدناه، يبعد أحدها عن الآخر 5m . صمّم الإطار الرئيسي بالطريقة المرنة من فولاذ S275



a) Portal b) Plan

أولاً : اعتبارات تصميمية

* يُقدَّر الوزن الذاتي لطبقات التغطية مع العزل الحراري بـ $0.25\ kN/m^2$
* تم استخدام جوائز ثانوية وسكك جدران زنة $0.04\ kN/m$ وبتباعد بينها قدره $1.5\,m$ فكان وزنها الذاتي $0.03\ kN/m^2$.
* بفرض استخدام مقطع قياسي $457\times191\times67\,UB$ فيكون وزنه الذاتي $0.13\ kN/m^2$.
* يُقدَّر الحمل الحي بـ $0.75\ kN/m^2$ لأن السقف لايوصل إليه وزاوية ميله أقل من 30°.
* زاوية ميل السقف $\theta = 21.8^\circ$.

ثانياً : تقدير أحمال الإطار

* الأحمال الميتة على السقف: (موزعة على المسقط الأفقي)

$$w_d = (0.25 + 0.03 + 0.13) \text{ x } 5 \text{ x } 10.77/10 = 2.21 \ kN/m$$

* الأحمال الميتة لجدار البناء:

$$w_{d1} = (0.25 + 0.03 + 0.13) \text{ x } 5 \text{ x } 6 = 12.3 \ kN$$

* الأحمال الحية: $w_i = 0.75 \text{ x } 5 = 3.75 \ kN/m$

* الأحمال المصعّدة على السقف:

$$w' = 1.4\, w_d + 1.6\, w_i = 1.4 \text{ x } 2.21 + 1.6 \text{ x } 3.75 = 9.09 \ kN/m$$

* الأحمال الأفقية الافتراضية المطبّقة عند رأس كل عمود:

الفقرة (1-1-2)

$$H = 0.5 \text{ x } 0.005 \text{ x } (9.09 \text{ x } 20) = 0.45 \ kN$$

* أحمال الرياح: باعتبار أن البناء سيُشاد في مدينة صغيرة (الفئة 3) وأن أي من أبعاده أصغر من $50\, m$ (الصف B) فلذلك يُحدَّد معامل الخشونة S_2 من الجدول (12-2) حسب الارتفاع وعليه تُحدَّد السرعة التصميمية V_s وفق العلاقة (12-3) مع اعتبار $S_1 = S_3 = 1$ ومنه يُحدَّد الضغط الديناميكي q وفق العلاقة (12-2). و يبين الجدول التالي هذه المقادير مع معامل الضغط الخارجي c_{pe} وفقاً للجدولين (12-3,4).

العنصر	الارتفاع (m)	S_2	V_s m/sec	q kN/m^2	c_{pe}		
					$\alpha = 0^\circ$		$\alpha = 90^\circ$
					واجهة الرياح wind ward	الوجه الخلفي Lee ward	
سقف	10	0.74	33.3	0.68	- 0.33	- 0.4	- 0.7
جدران	6	0.67	30.2	0.56	+ 0.7	- 0.25	- 0.5

يُحسَب حمل الرياح على الإطار وفق العلاقة التالية:

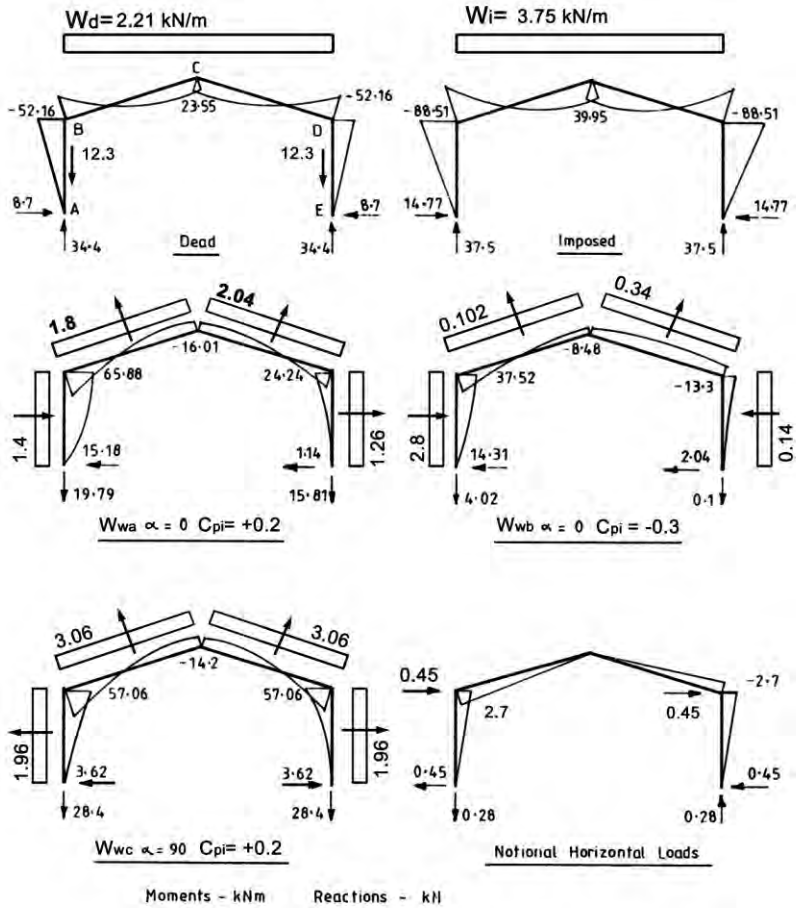
$$w_w = 5\, q\, (c_{pe} - c_{pi})$$

حيث c_{pi} معامل الضغط الداخلي ويأخذ إحدى القيمتين $+0.2$ أو -0.3 كما جاء في الفصل (12) .

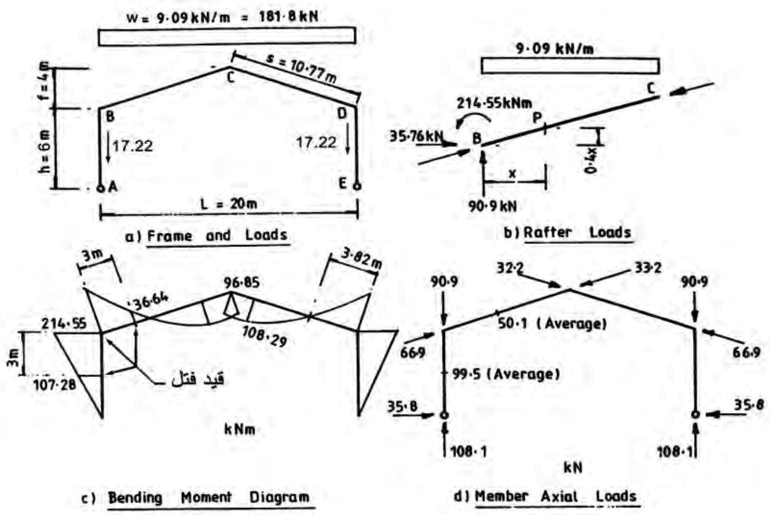
ثالثاً : التحليل الإنشائي

تبين المخططات التالية الأحمال غير المصعّدة (عدا الأحمال الأفقية

الافتراضية) التي يتعرض لها المنشأ ومخططات عزم الانعطاف الناتجة.



كما يبين الشكل التالي مخططي عزم الانعطاف والقوى المحورية في الإطار نتيجة تطبيق الأحمال الشاقولية المصعّدة.



رابعاً : تصميم العمود

* حالات التحميل الرئيسية

النقطة	B		D	
حالة التحميل	العزم kNm	القوة المحورية kN	العزم kNm	القوة المحورية kN
$1.4\,w_d + 1.6\,wi$	- 214.55	90.9		
$1.4\,w_d + 1.6\,w_i + H$			- 217.25	91.18
$1.0\,w_d + 1.4\,w_{wa}$	39.1	- 5.6		
$1.2\,(w_d + w_i + w_{wb})$			- 184.76	71.4

العزم الذي يشد الألياف الخارجية سالب وقوى الضغط موجبة.

* العزم التصميمي والقوة المحورية التصميمية في النقطة D

$M = 217.25\ kN\,m\ \ ,\ \ F = 91.18\ kN$

* نختار مقطعاً قياسياً منتظماً $UB\,457\,x\,152\,x\,60$ من فولاذ ماركته S275 لكامل الإطار

$D = 454.6\,mm\ ,\ B = 152.9\,mm\ ,\ d = 407.6\,mm\ ,t = 8.1\,mm\ ,T = 13.3\,mm$

$b/T = 5.75\ ,\ d/t = 50.3\ ,\ Z_x = 1122\ cm^3\ \ ,\ \ S_x = 1287\ cm^3\ \ ,A = 76.2\ cm^2$

$r_x = 18.3\ cm\ \ ,\ \ r_y = 3.23\ cm$

الجدول (2-1) $T = 13.3\ mm\ <\ 16 \quad \Rightarrow \quad p_y = 275\ N/mm^2\ ,\ \varepsilon = (275/p_y)^{1/2} = 1.0$

– تصنيف المقطع

الجدول (2-2) $b/T = 5.75\ <\ 9\,\varepsilon \quad \Rightarrow$ الجناح لدن

يتعرض الجسد لقوة ضغط محورية تصميمية قدرها $F_c = 91.18\ kN$:

الفقرة 2-3-2 $r_1 = \dfrac{F_c}{dtp_{yw}} = \dfrac{91.18 \times 10^3}{407.6 \times 8.1 \times 275} = 0.1$

الجدول (2-2) $\dfrac{d}{t} = 50.3\ <\ \dfrac{80\,\varepsilon}{1+r_1} = \dfrac{80 \times 1}{1+0.1} = 72.7 \quad \Rightarrow$ الجناح لدن

إذاً المقطع كله لدن.

* تحقيق طاقة تحمّل العمود ED موضعياً

– نظراً لأن المقطع لدن تُحدَّد طاقة تحمّل العزم حول المحور x كمايلي:

العلاقة (5-2)

$M_{cx} = p_y\, S_x\ \leq 1.5\, p_y\, Z_x$

$M_{cx} = 275 \times 1287 \times 10^{-3}\ \leq 1.5 \times 275 \times 1122 \times 10^{-3}$

$M_{cx} = 353.9\ kN\,m \qquad \leq 462.7\ kN\,m$

$\therefore M_{cx} = 353.9\ kN\,m$

– لتحقيق طاقة تحمّل العمود موضعياً في النقطة D يجب تحقيق علاقة الترابط التالية:

العلاقة (8-1) $\dfrac{F}{A_g\, p_y} + \dfrac{M_x}{M_{cx}} \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \dfrac{91.18}{76.2 \times 275 \times 10^{-1}} + \dfrac{217.25}{353.9} = 0.66\ <1 \quad o.k.$

* تحقيق التحنيب الكلي

– يحدد الطول الفعّال للعمود في مستوي الإطار (حول المحور x-x) كمايلي:

العلاقة (17-1) إما $L_{Ecx}/L_c = 2.0 + 0.45\,(2 \times 10.77/6) = 3.62$

أو باستخدام الشكل (4-4b)

$(k_1 = \dfrac{1/6}{1/6 + 1/21.54} = 0.782 \quad , \quad k_2 = 1) \quad \Rightarrow \quad L_{Ecx}/L_c = 3.5$

$\therefore L_{Ecx} = 3.62 \times 600 = 2172\ cm \quad \Rightarrow \lambda_x = L_{Ecx}/r_x = 2172/18.3 = 118.7$

- يُحـدَّد الطـول الفعّـال للعمـود خـارج مسـتوي الإطـار (حـول المحـور الضـعيف) مـع فـرض وجـود قيـد جـانبي وفتـل فـي أعلـى العمـود وفـي منتصف ارتفاعه كما هو مبين على مخطط العزوم أعلاه.

$L_{Ecy} = 300\,cm \;\Rightarrow\; \lambda_y = L_{Ecy}/r_y = 300/3.23 = 92.9$

- تُحدَّد مقاومة الضغط كما يلي:

الجدول (4-3a) $\lambda_x = 118.7\;,\; p_y = 275\;N/mm^2 \;\Rightarrow\; p_{cx} = 121\;N/mm^2$

الجدول (4-3b) $\lambda_y = 92.9\;,\; p_y = 275\;N/mm^2 \;\Rightarrow\; p_{cy} = 154\;N/mm^2$

$\therefore p_c = p_{cx} = 121\;N/mm^2$

العلاقة (4-1) $P_c = A_g\,p_c = 76.2\times121\times10^{-1} = 922\,kN$

- من مخطط العزم المطبق على العمود يتبين:

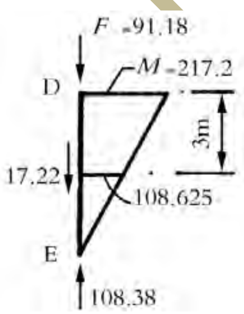
الجدول (8-1) $\beta = \dfrac{108.625}{217.2} = 0.5 \;\Rightarrow\; m_x = 0.8$

- لتحقيق التحنيب الكلي يجب أن تتحقق العلاقة (8-3):

العلاقة (8-3) $\dfrac{F_c}{P_c} + \dfrac{m_x M_x}{p_y Z_x} = \dfrac{91.18}{922} + \dfrac{0.8\times217.2}{275\times1122\times10^{-3}} = 0.66 < 1\;\; ok$

* تحقيق تحنيب الفتل الجانبي

- يعتمد العزم المقاوم لتحنيب الفتل الجانبي على نسبة النحافة حول المحور الضعيف. $\lambda = \lambda_y = 92.9$



مخطط العزم والقوى المحورية

ومعامل التحنيب $u = 0.9$

ومؤشر الفتل $x = D/T$

$= 454.6/13.3 = 34.2$

الجدول (5-5) $\left.\begin{array}{l}\lambda/x = 2.7\\ \eta = 0.5\end{array}\right\} \Rightarrow v = 0.92$

الجدول (5-6) $\beta = 108.625/217.25 = 0.5 \;\Rightarrow\; m_{LT} = 0.8$

العلاقة (5-15) $\lambda_{LT} = u\,v\,\lambda\sqrt{\beta_w} = 0.9 \text{ x } 0.92 \text{ x } 92.9\sqrt{1} = 77$

الجدول (5-7) $\lambda_{LT} = 77 \ , \ p_y = 275\ N/mm^2 \quad \Rightarrow \quad p_b = 172\ N/mm^2$

العلاقة (5-11) $M_b = p_b\, S_x = 172 \text{ x } 1287 \text{ x } 10^{-3} = 221.3\ \ kN\, m$

لتحقيق تحنيب الفتل الجانبي يجب أن تتحقق المتراجحة التالية:

العلاقة (8-4)

$$\frac{F_c}{A_g\, p_{cy}} + \frac{m_{LT}\, M_x}{M_b} \leq 1.0$$

$$\frac{91.18}{76.2 \text{ x } 154 \text{ x } 10^{-1}} + \frac{0.8 \text{ x } 217.25}{221.3} = 0.86 < 1.0 \qquad o.k.$$

إذاً مقطع العمود كافٍ.

خامساً : تحقيق جائز الإطار

* العزم التصميمي والقوة المحورية التصميمية

$M = 217.25\, kNm \ , \ F = 66.9\, kN$

* المقطع محقق موضعياً عند الركبة لأنه يتعرض لذات العزم وقوة محورية ضاغطة أقل مما يتعرض له العمود.

* تحقيق التحنيب الكلي:

– يُحدَّد الطول الفعّال لنصف مجاز الجائز في مستوي الإطار بتطبيق العلاقة (17-2)

العلاقة (17-2)

$$k_R = \frac{3.62 \text{ x } 2 \text{ x } 6}{21.54}\sqrt{\frac{99.5}{50.1}} = 2.84$$

$$\therefore L_{ERx} = 2.84 \text{ x } 10.77 = 30.58\, m \Rightarrow \lambda_x = L_{ERx} / r_x = 167 < 180$$

– يُحدَّد الطول الفعّال للجائز خارج مستوي الإطار وذلك باعتبار وجود قيد جانبي وقيد فتل على بعد 3.0 m من الركبة كما هو مبين في مخطط عزم الانعطاف لحالة الأحمال الشاقولية فيتم بذلك تجزيء الجائز إلى قسمين، الأول من الركبة حتى قيد الفتل بطول 3.0 m يخضع فيه الجناح الداخلي وغير المقيد إلى قوى ضغط نتيجة العزم. أما في الجزء الثاني (من قيد الفتل إلى ذروة الإطار) يخضع الجناح الخارجي المقيد بالجوائز الثانوية إلى الضغط الناتج عن العزم. لذلك سيتم تحقيق القسم

الأول كونه الأخطر.

الجدول (4-3a) $\therefore L_{ERy} = 300\,cm \;\Rightarrow\; \lambda_y = L_{ERy}/r_y = 92.9$

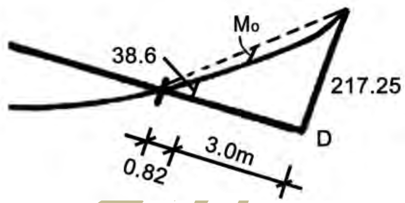
$(\lambda_x = 167\;,\; p_y = 275) \;\Rightarrow\; p_{cx} = 65.7\;N/mm^2$

الجدول (4-3b) $(\lambda_y = 92.9\;,\; p_y = 275) \;\Rightarrow\; p_{cy} = 154\;N/mm^2$

$\therefore p_c = p_{cx} = 65.7\,N/mm^2$

$P_c = A_g p_c = 76.2 \times 65.7 \times 10^{-1} = 500.6\,kN$

يتعرض هذا الجزء من الجائز إلى العزم الناتج عن الأحمال الشاقولية المصعّدة مضافاً إليه العزم الناتج عن الأحمال الأفقية الافتراضية.



$M_o = 9.09\,(3 \times 10/10.77)^2/8 = 8.82\,kN\,m$

بما أن التحنيب سيحصل حول المحور x. لذا تصبح العلاقة (8-3) كمايلي:

العلاقة (8-3)

$$\frac{F_c}{P_c} + \frac{m_x M_x}{p_y Z_x} \le 1$$

الجدول (8-1)

حيث $$m_x = 0.2 + \frac{0.1M_2 + 0.6M_3 + 0.1M_4}{M_{max}} \ge \frac{0.8M_{24}}{M_{max}}$$

العزم في نقطة المنتصف $M_3 = \dfrac{217.25 + 38.6}{2} - M_o = 119.1kNm$

العزم في نقطة الربع الأولى $M_2 \approx \dfrac{217.25 + 119.1}{2} = 168.2\,kNm$

العزم في نقطة الربع الثانية $M_4 \approx \dfrac{119.1 + 38.6}{2} = 78.85\,kNm$

العزم الأعظمي في النصف الوسطي من الجزء $M_{24} = 168.2\,kNm$ المدروس و $M_{max} = 217.25kNm$ أكبر عزم يتعرض له هذا الجزء.

إذاً:

$$m_x = 0.2 + \frac{0.1\times168.2 + 0.6\times119.1 + 0.1\times78.85}{217.25} = 0.64 \geq \frac{0.8\times168.2}{217.25} = 0.62$$

$$\frac{F_c}{P_c} + \frac{m_x M_x}{p_y Z_x} = \frac{66.9}{500.6} + \frac{0.64\times217.25}{275\times1122\times10^{-3}} = 0.58 \leq 1 \quad \text{ok}$$

* تحقيق تحنيب الفتل الجانبي

– تحديد العزم المقاوم لتحنيب الفتل الجانبي

$$\lambda = \lambda_y = 92.9 \ , \ u = 0.9 \ , \ x = D/T = 34.2$$

الجدول (5-5)

$$\left.\begin{aligned} \lambda / x &= 2.7 \\ \eta &= 0.5 \end{aligned}\right\} \Rightarrow \ v = 0.92$$

العلاقة (5-15)

$$\lambda_{LT} = u \ v \ \lambda \sqrt{\beta_w} = 0.9 \text{ x } 0.92 \text{ x } 92.9\sqrt{1} = 77$$

الجدول (5-7)

$$(\lambda_{LT} = 77 \ , \ p_y = 275) \ \Rightarrow \ p_b = 177 \ N/mm^2$$

العلاقة (5-11)

$$M_b = p_b \ S_x = 172 \text{ x } 1287 \text{ x } 10^{-3} = 221.3 \ kN\,m$$

– يحدد معامل العزم المكافئ m_{LT} من الجدول (5-6) باعتبار أن مقطع العنصر متساوي الجناحين وأن الجزء المدروس محمل بقوى بين طرفيه

الجدول (5-6)

$$m_{LT} = 0.2 + \frac{0.15M_2 + 0.5M_3 + 0.15M_4}{M_{max}} \geq 0.44$$

العزم في نقطة المنتصف $M_3 = 119.1 kNm$

العزمين في نقطتي الربع $M_4 \approx 78.85 \, kNm$ و $M_2 \approx 168.2 \, kNm$

أكبر عزم يتعرض له هذا الجزء المدروس. $M_{max} = 217.25 kNm$

إذاً:

$$m_{LT} = 0.2 + \frac{0.15\times168.2 + 0.5\times119.1 + 0.15\times78.85}{217.25} = 0.64 \geq 0.44$$

لتحقيق التحنيب الكلي يجب أن تتحقق علاقة الترابط التالية:

العلاقة (8-4)

$$\frac{F_c}{A_g \ p_{cy}} + \frac{m_{LT} \ M_x}{M_b} \leq 1.0$$

$$\frac{66.9}{76.2 \text{ x } 154 \text{ x } 10^{-1}} + \frac{0.64 \text{ x } 217.25}{221.3} = 0.68 \ < 1.0 \ \ o.k.$$

إذاً الجائز محقّق.

مثال (17-2)

أعد تصميم الإطار الرئيسي في المثال (17-1) باستخدام طرائق التصميم اللدن.

الحل:

أولاً : اعتبارات تصميمية

– يزود الإطار بشطفة عند الركبة طولها 1.5m وارتفاعها 0.45m

– العزم اللدن للعمود M_{pc} وللجائز $M_{pb} = 0.75\,M_{pc}$

ثانياً : التحليل الإنشائي

* تحت تأثير الأحمال الشاقولية $(1.4\,w_d + 1.6\,w_l)$

يبين الشكل أدناه الإطار مبيَّناً عليه الأحمال ومواقع المفاصل اللدنة، ويُحدَّد العزم اللدن في العمود وفي الجائز كمايلي:

العلاقة 17-21 $M_{pc} = R_H\, e = 5.55\, R_H$ (1)

العلاقة 17-22 $M_{pb} = 0.75\,M_{pc} = M_x - R_H\, g$

العلاقة 17-15 $g = 6 + 0.4\,x$

العلاقة 17-16 $M_x = 90.9\,x - 9.09\,x^2/2$

$$\Rightarrow \quad M_{pb} = 0.75\,M_{pc} = 90.9\,x - 9.09\,x^2/2 - R_H\,(6 + 0.4\,x) \qquad (2)$$

نعوض العلاقة (1) في العلاقة (2) ينتج:

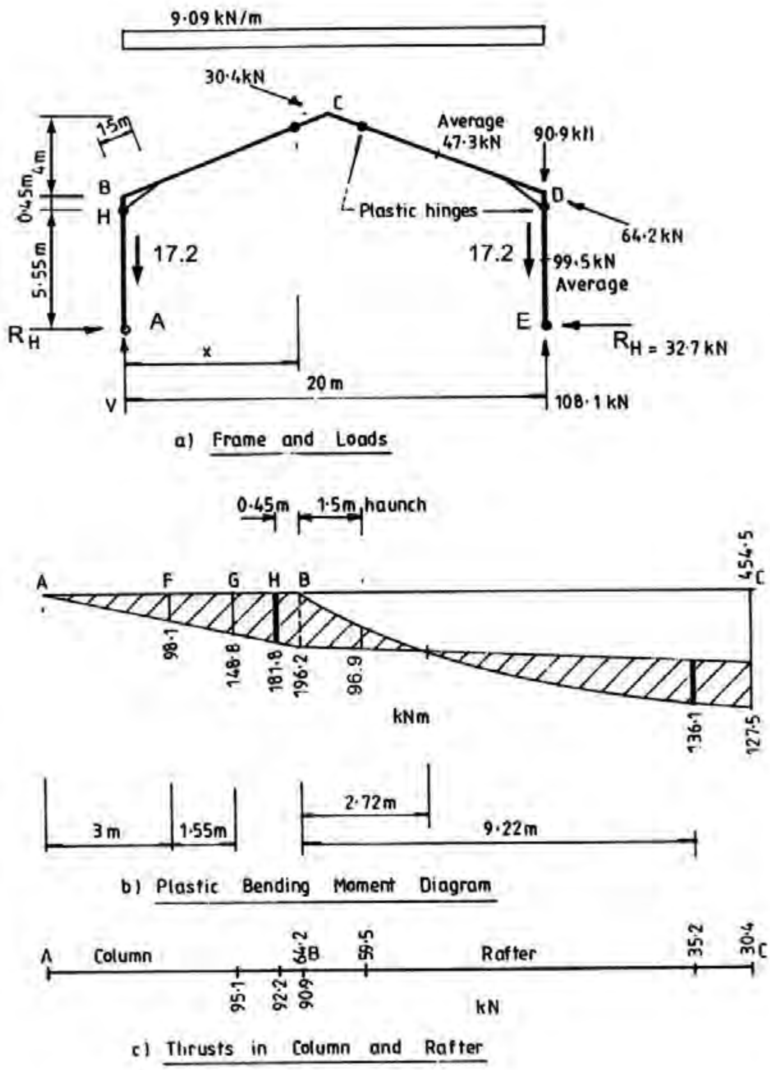
$$R_H = \frac{90.9\,x - 4.55\,x^2}{10.16 + 0.4\,x} \qquad (3)$$

$$dR_H / dx = 0 \Rightarrow x^2 + 50.7\,x - 507.4 = 0 \Rightarrow x = 8.56\,m$$

نعوض x في العلاقة (3) ثم نعوض الناتج في العلاقة (1) ينتج:

$$R_H = 32.7\,kN \;,\; M_{pc} = 181.5\,kN\,m \;,\; M_{pb} = 0.75\,M_{pc} = 136.1\,kN\,m$$

ويبين الشكل أدناه مخطط العزم اللدن ومخطط القوى المحورية



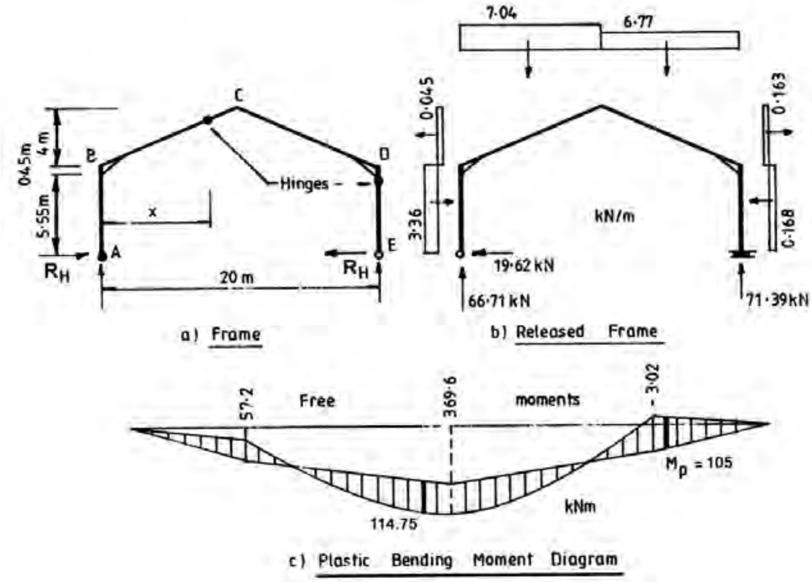
a) Frame and Loads

b) Plastic Bending Moment Diagram

c) Thrusts in Column and Rafter

* تحت تأثير الأحمال الميتة والحية والرياح $1.2\,(w_d + w_i + W_{wb})$

سيتم تحليل أحمال الرياح المطبّقة على السقف إلى مركبتين إحداهما أفقية والأخرى شاقولية تضاف إلى الأحمال الميتة والحية. ويبين الشكل أدناه (a) المواقع المتوقّعة للمفاصل اللدنة في الإطار، كما يبين الشكل (b) الأحمال المصعّدة مطبّقة على الإطار بعد تحويله إلى إطار مقرر سكونياً.



a) Frame b) Released Frame

c) Plastic Bending Moment Diagram

يُحدَّد عزم الانعطاف الحر في أية نقطة من جائز الإطار المقرر سكونياً تبعد x عن الركبة بالعلاقة التالية:

$$M_x = 57.24 + 66.5\,x - 3.52\,x^2 \qquad (4)$$

كما يُحدَّد العزم اللدن في كل من العمود والجائز بالعلاقتين التاليتين:

$$M_{pc} = 5.55\,R_H + 0.168 \text{ x } 5.55^2 / 2 = 5.55\,R_H + 2.59 \qquad (5)$$

$$M_{pb} = 0.75\,M_{pc} = M_x - R_H\,(6 + 0.4\,x) \qquad (6)$$

نعوض العلاقتين (4) و (5) في (6) فنجد:

$$0.75\,(5.55\,R_H + 2.59) = 57.24 + 66.5\,x - 3.52\,x^2 - R_H\,(6 + 0.4\,x)$$

بالإصلاح نجد:

$$R_H = \frac{55.29 + 66.5\,x - 3.52\,x^2}{10.16 + 0.4\,x} \qquad (7)$$

يتضح من العلاقة (5) أن العزم اللدن M_{pc} يكون أعظمياً عندما تكون R_H أكبر مايمكن. وكي نحدد القيمة العظمى لـ R_H نضع:

$$dR_H / dx = 0 \Rightarrow 1.408\,x^2 + 71.53\,x - 653.52 = 0 \Rightarrow x = 7.9\,m$$

نعوض x في العلاقة (7) والناتج في العلاقة (5) ينتج:

$$R_H = 27.1\,kN \;,\; M_{pc} = 153\,kN\,m \;,\; M_{pb} = 114.75\,kN\,m$$

هذان العزمان اللدنان أقل من نظيريهما في حالة التحميل السابقة لذا فحالة الأحمال الشاقولية هي المسيطرة. يبين الشكل (c) أعلاه مخطط العزم اللدن الناتج عن حالة تحميل الأحمال الميتة والحية والرياح.

ثالثاً : تصميم العمود

* يتعرض مقطع العمود عند أسفل الركبة (النقطة H) إلى عزم لدن $M_{pc} = 181.8\ kN\,m$ وإلى قوة محورية $F_c = 92.2\ kN$

* نحدد بشكل أولي معامل المقطع اللدن المطلوب لمقاومة العزم اللدن

العلاقة 5-2 $S_{req} = M_{pc} / p_y \;\Rightarrow\; S_{req} = 181.8 \text{ x } 10^3 / 275 = 661.1\ cm^3$

* نجرب المقطع $UB\ 406 \text{ x } 140 \text{ x } 46$ ذا الخصائص التالية:

$S = 888\ cm^3\ ,\ A = 59\ cm^2\ ,\ I_x = 15600\ cm^4\ ,\ r_x = 16.3\ cm$

$r_y = 3.02\ cm\ ,\ D = 403.2\ mm\ ,\ B = 142.2\ mm\ ,\ d = 360.4\ mm$

$Z = 778\ cm^3 ,\ t = 6.8\ mm\ ,\ T = 11.2\ mm\ ,\ b/T = 6.35\ ,\ d/t = 53$

الجدول 2-1 – $T = 11.2\ mm < 20 \Rightarrow p_y = 275\ N/mm^2\ ,\ \varepsilon = (275/p_y)^{1/2} = 1.0$

الجدول 2-2 – تصنيف المقطع: $b/T = 5.75 < 9\varepsilon \;\Rightarrow$ الجناح لدن

يتعرض الجسد لقوة ضغط محورية تصميمية قدرها $F_c = 92.2\ kN$:

$$r_1 = \frac{F_c}{d t p_{yw}} = \frac{92.2 \times 10^3}{360.4 \times 6.8 \times 275} = 0.13$$

الجدول 2-2 $\frac{d}{t} = 53 < \frac{80\,\varepsilon}{1 + r_1} = \frac{80 \text{ x } 1}{1 + 0.13} = 70.8 \;\Rightarrow$ الجناح لدن

إذاً المقطع بكامله لدن

الجدول 17-2 $n = \frac{F}{P_p} = \frac{F}{A\,p_y} = \frac{92.2 \text{ x } 10^3}{59 \text{ x } 10^2 \text{ x } 275} = 0.057 \;\Rightarrow\; \bar{\alpha} = 1.0$

يُحدَّد معامل المقطع اللدن المخفض كمايلي:

العلاقة 17-45 $S_r = \bar{\alpha}\, S = 888\ cm^3 > S_{req} \;\Rightarrow$ إذاً المقطع المختار كافٍ

رابعاً: تصميم جائز الإطار

يتعرض مقطع الجائز عند المفصل اللدن إلى عزم لدن $M_{pb} = 136.1\, kN\, m$

وإلى قوة محورية $F_c = 35.2\, kN$

* نحدد بشكل أولي معامل المقطع اللدن المطلوب.

العلاقة 5-2 $S_{req} = M_{pb} / p_y = 136.1 \text{ x } 10^3 / 275 = 494.9\ cm^3$

* نجرب المقطع $UB\, 356 \text{ x } 127 \text{ x } 39$ ذي الخصائص التالية:

$S = 654\, cm^3\ ,\ A = 49.4\, cm^2\ ,\ I_x = 10100\, cm^4\ ,\ Z_x = 572\, cm^3$

$r_x = 14.3\, cm\ ,\ r_y = 2.69\, cm\ ,\ D = 353.4\, mm\ ,\ B = 126\, mm$

$t = 6.6\, mm\ ,\ T = 10.7\, mm\ ,\ d = 311.6\, mm\ ,\ b/T = 5.89\ ,\ d/t = 47.2$

الجدول 2-1 $T = 10.7\, mm < 20 \Rightarrow p_y = 275\, N/mm^2\ ,\ \varepsilon = (275/p_y)^{1/2} = 1.0$

الجدول 2-2 – تصنيف المقطع: $b/T = 5.89 < 9\,\varepsilon \Rightarrow$ الجناح لدن

يتعرض الجسد لقوة ضغط محورية تصميمية قدرها $F_c = 35.2\ kN$:

$$r_1 = \frac{F_c}{d t p_{yw}} = \frac{35.2 \times 10^3}{311.6 \times 6.6 \times 275} = 0.06$$

الجدول 2-2

$$\frac{d}{t} = 53 < \frac{80\,\varepsilon}{1 + r_1} = \frac{80 \text{ x } 1}{1 + 0.06} = 75.5 \Rightarrow$$ الجناح لدن

إذاً المقطع بكامله لدن

الجدول 17-2

$$n = \frac{F}{P_p} = \frac{F}{A\, p_y} = \frac{35.2 \text{ x } 10^3}{49.4 \text{ x } 10^2 \text{ x } 275} = 0.026 \Rightarrow \bar{\alpha} = 1.0$$

يُحدَّد معامل المقطع اللدن المخفض كمايلي:

العلاقة 17-45 $S_r = \bar{\alpha}\, S = 654\, cm^3 > S_{req} \Rightarrow$ إذاً المقطع المختار كافٍ

* يتم التأكد من بقاء مقطع الجائز مرناً عند نهاية الشطفة حيث $M = 96.9\ kNm\ ,\ F = 59.5\ kN$ بتطبيق العلاقة التالية:

العلاقة 17-20

$$\frac{F}{A} + \frac{M}{Z_x} = \frac{59.5 \text{ x } 10^3}{49.4 \text{ x } 10^2} + \frac{96.9 \text{ x } 10^6}{572 \text{ x } 10^3} = 181.4\, N/mm^2 < p_y = 275\, N/mm^2$$

إذاً المقطع يبقى مرناً.

خامساً : قيود العمود ودراسة استقراره

* سيتم تأمين قيد فتل كالمبين في الشكل (4-17) عند المفصل اللدن في أسفل الشطفة كما يجب تنفيذ قيد فتل ثاني على بعد L_m من قيد الفتل السابق وتُحدَّد هذه المسافة كمايلي:

العلاقة 17-47

$$\left.\begin{aligned} L_m &= \frac{38 \text{ x } r_y}{\left[(f_c/130)+(p_y/275)^2\ (x/36)^2\ \right]^{1/2}} \\ f_c &= F/A = 92.2 \text{ x } 10/59 = 15.63\ N/mm^2 \\ p_y &= 275\ N/mm^2\ \ ,\ r_y = 30.2\ mm \\ x &\approx D/T = 36 \end{aligned}\right\} \Rightarrow\ \ L_m = 1285\ mm$$

يبين الشكل أدناه مواقع قيود العمود حيث تم اختيار أول قيد عند المفصل في النقطة H والقيد الثاني في النقطة G على بعد 1.0m من المفصل (أقل من L_m) والقيد الثالث في النقطة F على بعد 1.55m من النقطة G.

* تحقيق جزء العمود بين القيدين F و G

– من مخطط العزم اللدن الناتج عن الأحمال الشاقولية نجد:

$$M_G = 148.8\ kN\ m\ ,\ M_F = 98.1\ kN\ m\ ,\ \ F_G = 95.1\ kN$$

– يُحدَّد الطول الفعّال للعمود في مستوي الإطار ومقاومة الضغط كمايلي:

العلاقة 17-1

$$k_c = 2.0 + 0.45\frac{15600/6.0}{10100/21.54} = 4.49$$

$$L_{Ecx} = k_c\ L_c = 4.49 \text{ x } 600 = 2694\ cm \Rightarrow \lambda_x = L_{Ecx}/r_x = 165.3$$

الجدول 4-3a

$$(\ p_y = 275\ N/mm^2\ \ ,\ \lambda_x = 165.3\ ) \ \Rightarrow\ \ p_{cx} = 67\ N/mm^2$$

– يُحدَّد الطول الفعّال لجزء العمود GF ومقاومة الضغط كمايلي:

الجدول 4-4

$$L_{Ey} = 1.0\ L = 1.55\ m\ \ \Rightarrow\ \ \lambda_y = L_{Ey}/r_y = 155/3.02 = 51.3$$

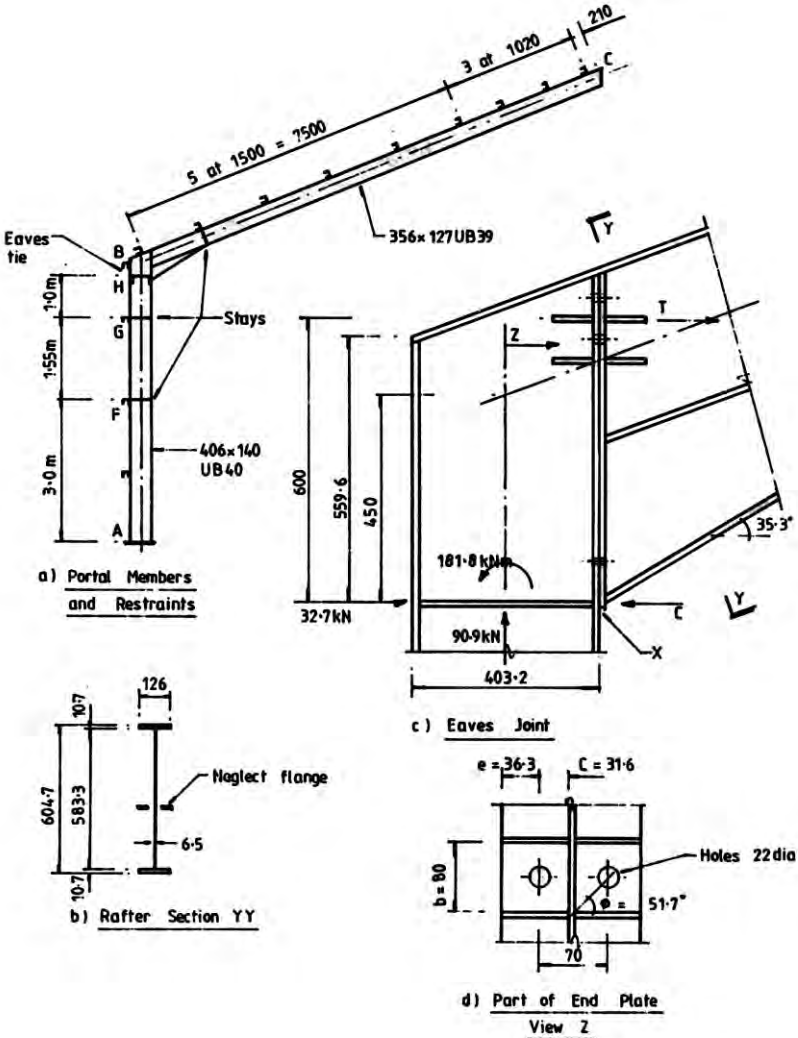
الجدول 4-3b

$$(\ p_y = 275\ N/mm^2\ \ ,\ \lambda_y = 51.3\ ) \ \Rightarrow\ \ p_{cy} = 235\ N/mm^2$$

$$\therefore p_c = p_{cx} = 67\ N/mm^2$$

العلاقة (4-1)

$$P_c = A_g\, p_c = 59 \times 67 \times 10^{-1} = 395.3\ kN$$



– من مخطط العزم المطبق على العمود يتبين:

الجدول (8-1)

$$\beta = \frac{M_A}{M_G} = \frac{0}{148.8} = 0 \Rightarrow m_x = 1$$

– لتحقيق التحنيب الكلي يجب أن تتحقق العلاقة (8-3):

$$\frac{F_c}{P_c} + \frac{m_x M_x}{p_y Z_x} = \frac{95.1}{395.3} + \frac{1.0 \times 148.8}{275 \times 778 \times 10^{-3}} = 0.94 < 1 \ ok$$

– تحديد العزم المقاوم لتحنيب الفتل:

$$\lambda=\lambda_y=51.3\ ,\ u=0.9\ ,\ x=D/T=36$$

الجدول 5-5

$$\left.\begin{array}{l}\lambda/x=1.425\\ \eta=0.5\end{array}\right\}\Rightarrow\quad v=0.972$$

الجدول 5-6

$$\beta=M_F/M_G=98.1/148.8=0.66\ \Rightarrow\ m_{LT}=0.87$$

العلاقة (5-15)

$$\lambda_{LT}=u\,v\,\lambda\sqrt{\beta_w}=0.9\text{ x }0.972\text{ x }51.3\sqrt{1}=45$$

الجدول (5-7)

$$(\,p_y=275\,N/mm^2\ ,\ \lambda_{LT}=45\,)\ \Rightarrow\ p_b=250\,N/mm^2$$

العلاقة (5-11)

$$M_b=p_b\,S_x=250\text{ x }888\text{ x }10^{-3}=222\,kN\,m$$

– لتحقيق تجنيب الفتل الجانبي يجب تحقيق علاقة الترابط التالية:

العلاقة 8-4

$$\frac{F}{A_g\,p_{cy}}+\frac{m_{LT}\,M_x}{M_b}\le 1.0$$

$$\frac{95.1}{59\text{ x }235\text{ x }10^{-1}}+\frac{0.87\text{ x }148.8}{222}=0.65<1.0\qquad o.k.$$

سادساً : قيود الجائز ودراسة استقراره

* يبين الشكل (b) السابق مقطع الجائز عند الركبة مباشرةً، وتُحدَّد خواص هذا المقطع بإهمال الجناح الوسطي كمايلي:

$$A=(D-2T)\,t+2\,BT=58.33\text{ x }0.65+2\text{ x }12.6\text{ x }1.07=64.9\,cm^2$$

$$S_x=0.25\,BD^2-0.25\,(B-t)\ (D-2T)^2$$
$$=0.25\text{ x }12.6\text{ x }60.47^2-0.25\,(12.6-0.65)\text{ x }58.33^2=1353\,cm^3$$

$$I_y\approx 2\text{ x }T\,B^3/12=2\text{ x }1.07\text{ x }12.6^3/12=356.7\,cm^4$$

$$r_y=(I_y/A)^{1/2}=23.5\,mm$$

* سيتم تامين استقرار جائز الإطار في منطقة الركبة بأخذ تأثير قيود الجناح المشدود بالحسبان.

– يبين الشكل (c) السابق مخططاً تفصيلياً لمنطقة الركبة كما يبين الشكل (b) المقطع العرضي y-y الأعظمي في منطقة الركبة و يتضح أيضاً أن:

$$D_{min}=D=353.4\,mm\,,\ D_{max}=604.7\,mm\Rightarrow(D_{max}/D_{min})=1.7$$

$D_h = 267\,mm\,,\quad D_s = 380.6\,mm \Rightarrow (D_h / D_s) = 0.7$

تُحدّد المسافة (L_5) من الركبة إلى أول قيد للجناح المضغوط بتطبيق العلاقة التالية:

العلاقة 17-48

$$L_s = \frac{620\, r_y}{K_1\left(72\ -(100/x)^2\right)^{1/2}}$$

الجدول 17-3

$$K_1 = 1 + 0.25(D_h / D_s)^{2/3} = 1 + 0.25(0.7)^{2/3} = 1.2$$

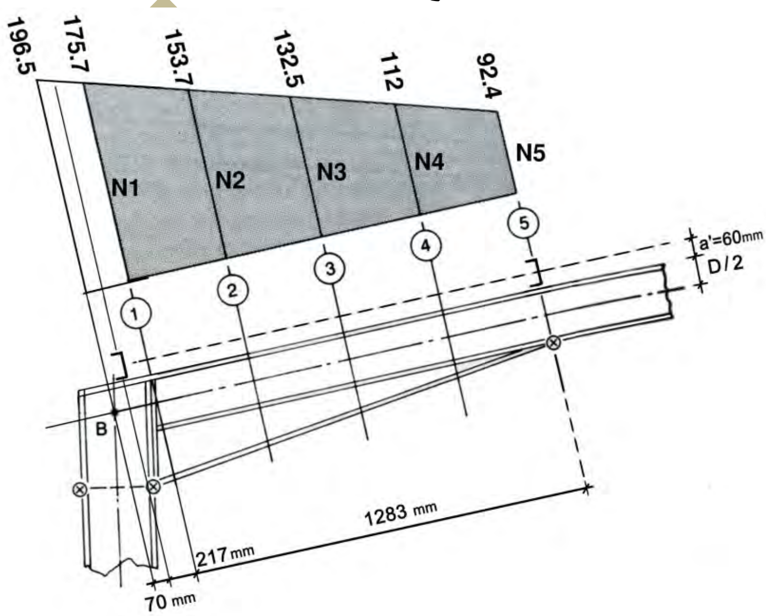
$x = D / \mathrm{T} = 353.4 / 10.7 = 33\ \ ,\quad r_y = 2.69\,cm$ لأصغر مقطع

$$L_s = \frac{620 \text{ x } 26.9}{1.2 \times \left[72 - \ (100/33)^2\right]^{1/2}} = 1753\,mm$$

لذلك سيتم تزويد الجائز بقيد فتل عند نهاية الشطفة.

سابعاً : دراسة استقرار الشطفة

* يبين الشكل أدناه العزم المطبّق على الجائز في منطقة الشطفة سيتم تقسيم الشطفة إلى أربعة أقسام متساوية. ويوضح الشكل أدناه عزم الانعطاف المطبّق عند كل مقطع من (1) إلى (5).



* خواص المقطع العرضي عند المقاطع (1) إلى (5)

يبين الجدول التالي خواص المقطع العرضي وطاقة تحمّله على العزم والعزم المطبّق.

5	4	3	2	1	المقطع
353.4	416.2	479	541.9	604.7	$D\ mm$
358	356.7	356.7	356.7	356.7	$I_y\ cm^4$
49.4	52.6	56.7	60.8	64.9	$A\ cm^2$
2.69	2.6	2.5	2.42	2.35	$r_y\ cm$
654	800	971.6	1156.4	1353	$s_x\ cm^3$
179.8	220	267.2	318	372	طاقة تحمّل العزم $M = p_y\ S_x\ kN\ m$
92.4	112.5	132.5	153.7	175.7	العزم المطبّق $N\ \ kN\ m$
0.514	0.511	0.496	0.483	0.472	N/M

* تحديد مقاومة الانعطاف p_b

– تحديد نسبة النحافة المكافئة للشطفة

$$\lambda = L / r_y = 150 / 2.69 = 55.8$$

$$x = D / T = 353.4 / 10.7 = 33$$

$$h_s = D - T = 353.4 - 10.7 = 342.7 mm$$

$$a = 60 + D/2 = 60 + 353.4/2 = 236.7 mm$$ (انظر الشكل أعلاه)

العلاقة 17-8

$$v_t = \left[\frac{4 \text{ x } 236.7 / 342.7}{1 + (2 \text{ x } 236.7 / 342.7)^2 + 0.05 (55.8 / 33)^2} \right]^{1/2} = 0.95$$

العلاقة 17-10

$$c = 1 + \frac{3}{x-9} \ (\frac{D_h}{D_s})^{2/3} \ (\frac{L_h}{L_t})^{1/2}$$

$$c = 1 + \frac{3}{33-9} \ (0.7)^{2/3} \ (1)^{1/2} = 1.1$$

العلاقة 17-11

$$n_t = \left\{ \frac{1}{12} \left[\frac{N_1}{M_1} + \frac{3\,N_2}{M_2} + \frac{4\,N_3}{M_3} + \frac{3\,N_4}{M_4} + \frac{N_5}{M_5} + 2\,\left(\frac{N_s}{M_s} - \frac{N_E}{M_E} \right) \right] \right\}^{1/2}$$

$N_S / M_S = 0.511$ الأكبر من $N_2 / M_2 \;,\; N_3 / M_3 \;,\; N_4 / M_4$

$N_E / M_E = 0.514$ الأكبر من $N_1 / M_1 \;,\; N_5 / M_5$

$$N_s / M_s - N_E / M_E = -0.03 \; < \; 0.0 \;\Rightarrow\; N_s / M_s - N_E / M_E = 0$$

$$\therefore n_t = \left\{ \frac{1}{12} \left[0.472 + 3 \text{ x } 0.483 + 4 \text{ x } 0.496 + 3 \text{ x } 0.511 + 0.514 \right] \right\}^{1/2} = 0.7$$

$$u = 1.0$$

العلاقة 17-7

$$\lambda_{TB} = n_t \, u \, v_t \, c \, \lambda = 0.7 \text{ x } 1.0 \text{ x } 0.95 \text{ x } 1.1 \text{ x } 55.8 = 40.8$$

الجدول 5-8

$$(\, p_y = 275 \; N/mm^2 \;\;,\; \lambda_{TB} = 40.8 \,) \;\Rightarrow\; p_b = 250 \; N/mm^2$$

* تحديد مقاومة الضغط p_c

$$\lambda_{Tc} = y\,\lambda \quad , \quad \lambda = L_t / r_y = 55.8$$

العلاقة 17-5

$$y = \left[\frac{1 + (2 \text{ x } 236.7 / 342.7)^2}{1 + (\,2 \text{ x } 236.7 / 342.7\,)^2 + 0.05\,(\,55.8/33\,)^2} \right]^{1/2} = 0.976$$

العلاقة 17-6

$$\lambda_{Tc} = y\,\lambda = .976 \times 55.8 = 54.5$$

الجدول 4-3b

$$(\, p_y = 275 \; N/mm^2 \;\;,\; \lambda_{TC} = 54.5 \,) \;\Rightarrow\; p_c = 229 \; N/mm^2$$

تُحدد طاقة تحمل الضغط لأصغر مقطع بتطبيق العلاقة (4-1)

$$P_c = A_g \; p_c = 49.4 \times 229 \times 10^{-1} = 1131.3 \; kN$$

* يجب أن تحقق الشطفة علاقة الترابط التالية:

العلاقة 17-4

$$\frac{F_c}{P_c} + \frac{M_{xi}}{M_{bi}} \le 1$$

$$M_{\text{bi}} = p_b \; S_{xi} \quad , \qquad \frac{F_c}{P_c} = \frac{59.5}{1131.3} = 0.053$$

ويبين الجدول أدناه قيم المتراجحة السابقة في المقاطع الخمسة المبينة في الشكل أعلاه

5	4	3	2	1	المقطع
654	800	971.6	1156.4	1353	$s_x\ cm^3$
92.4	112.5	132.5	153.7	175.7	العزم المطبّق $M_{xi}\ kN\,m$
163.5	200	242.9	289.1	338.25	$M_{bi} = p_b\ S_{xi}$ $kN\,m$
0.613	0.613	0.0.593	0.583	0.573	$\frac{F_c}{P_c} + \frac{M_{xi}}{M_{bi}}$

يتضح من الجدول أعلاه أن أكبر قيمة للمتراجحة تساوي 0.613 إذاً استقرار الشطفة محقق.

ثامناً : دراسة الاستقرار الجانبي

الفقرة 17-3-4

- فتحة الإطار L لا تزيد عن خمس مرات ارتفاع العمود h.
- ارتفاع ذروة الإطار h_r فوق أعلى العمود لا يزيد على $0.25L$
- يتم التحقيق من الاستقرار الجانبي للإطار بتحقيق العلاقة (17-46a).

العلاقة 17-46a

$$\frac{L_b}{D} \le \frac{44}{\Omega}\ \frac{L}{h}\ (\frac{\rho}{4+\rho\, L_r / L})\ (\frac{275}{p_{yb}})$$

$$\rho = 2\,(\frac{I_c}{I_r})\ (\frac{L}{h}) = 2 \text{ x } \frac{15600}{10100} \text{ x } \frac{20}{6} = 10.29$$

$$L_r = L/\cos\theta = 20/\cos 21.8^\circ = 21.54\ m$$

$$\left.\begin{aligned} W_r &= 9.09 \text{ x } 20 = 181.8 \\ W_o &= 16\, M_{pb} / L \\ M_{pb} &= 654 \text{ x } 275 \text{ x} 10^{-3} = 179.9\ kN\, m \end{aligned}\right\} \Rightarrow \begin{aligned} W_o &= 143.9\ kN \\ \Omega &= W_r / W_o = 1.26 \end{aligned}$$

العلاقة 17-46b

$$L_b = L - \left(\frac{2D_h}{D_s + D_h}\right) L_h = 20 - \frac{2 \times 267}{380.6 + 267} \times 1.5 \cos 21.8^\circ = 18.85\, m$$

العلاقة 17-46a

$$\frac{18850}{353.4} = 53.3 \ < \ \frac{44}{1.26} \text{ x } \frac{20}{6} (\frac{10.29}{4 + 10.29 \text{ x } 21.54 / 20}) = 79.4$$

إذاً الاستقرار الجانبي للإطار مؤمّن.

تاسعاً : تصميم الوصلات

يبين الشكل قبل السابق وصلة الركبة، وسنشرح فيمايلي بعض التحقيقات المطلوبة.

* قوة الشد في صفّي البراغي

$$T = (181.8 - 90.9 \text{ x } 0.403 / 2) / 0.6 = 272.5 \, kN$$

* قوتي الشد والقص في البرغي الواحد

$$F_t = T / 4 = 68.13 \;\; kN$$
$$F_s = V / 6 = 90.0 / 6 = 15.15 \;\; kN$$

* إذا تم استخدام براغي قطر $20\,mm$ ماركة $Gr\,8.8$ يتم تحقيق طاقة تحمّل البرغي الواحد على الشد وعلى القص كمايلي:

العلاقة 10-6 $$P_t = 0.8 p_t \; A_t = 0.8 \times 560 \times 245 \times 10^{-3} = 110 \;\; kN > F_t$$

العلاقة 10-1 $$P_s = p_s \; A_s = 375 \text{ x } 245 \text{ x } 10^{-3} = 91.9 \, kN > F_s$$

العلاقة 10-7 $$\frac{F_t}{p_t} + \frac{F_s}{p_s} = \frac{68.13}{110} + \frac{15.15}{91.9} = 0.78 \quad < \quad 1.4 \qquad\qquad o.k.$$

* تحقيق جناح العمود وصفيحة النهاية

بمساواة العلاقتين (17-54) و (17-55) ينتج:

العلاقتين 17-54,55 $$\frac{272.5 \text{ x } 10^3 \text{ x } 80}{8} = 4\,m\,(36.3 + 31.6) - m \text{ x } 22 \;\; (1 + \cos 51.7^\circ)$$
$$+ \frac{m \text{ x } 80}{31.6} \;\; (80 - 0.5 \text{ x } 22 \sin 51.7^\circ)$$

$$\therefore \; m = 6537.9 \;\; N\,mm / mm$$

العلاقة 17-56 $$t = (4 \text{ x } 6537.9 / 275)^{1/2} \; = 9.75 \;\; mm$$

سماكة جناح العمود $11.2\,mm$ كافية وكذلك سماكة صفيحة النهاية $12\,mm$

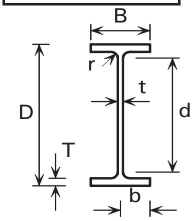
كافية أيضاً.	
* تحقيق جسد العمود على القص	
$F_v = 0.6 \text{ x } p_y\ Dt = 0.6 \text{ x } 275 \text{ x } 402.3 \text{ x } 6.9 \text{ x } 10^{-3}$	العلاقة 5-1
$= 458.8\ kN \ > \ T = 272.8\ kN \qquad o.k.$	
يمكن إجراء تحقيقات مشابهة لوصلة الذروة.	

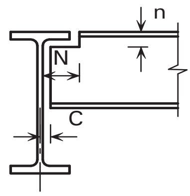
Annex A. TABLES OF DIMENSIONS AND GROSS SECTION PROPERTIES

BS 5950-1: 2000
BS 4-1: 2005

UNIVERSAL BEAMS

Advance UKB





Dimensions

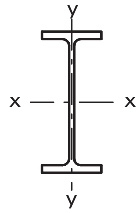
Section Designation	Mass per Metre	Depth of Section	Width of Section	Thickness		Root Radius	Depth between Fillets	Ratios for Local Buckling		Dimensions for Detailing			Surface Area	
				Web	Flange			Flange	Web	End Clearance	Notch		Per Metre	Per Tonne
		D	B	t	T	r	d	b/T	d/t	C	N	n		
	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm			mm	mm	mm	m^2	m^2
1016x305x487 +	486.7	1036.3	308.5	30.0	54.1	30.0	868.1	2.85	28.9	17	150	86	3.20	6.58
1016x305x437 +	437.0	1026.1	305.4	26.9	49.0	30.0	868.1	3.12	32.3	15	150	80	3.17	7.25
1016x305x393 +	392.7	1015.9	303.0	24.4	43.9	30.0	868.1	3.45	35.6	14	150	74	3.14	8.00
1016x305x349 +	349.4	1008.1	302.0	21.1	40.0	30.0	868.1	3.78	41.1	13	152	70	3.13	8.96
1016x305x314 +	314.3	999.9	300.0	19.1	35.9	30.0	868.1	4.18	45.5	12	152	66	3.11	9.89
1016x305x272 +	272.3	990.1	300.0	16.5	31.0	30.0	868.1	4.84	52.6	10	152	62	3.10	11.4
1016x305x249 +	248.7	980.1	300.0	16.5	26.0	30.0	868.1	5.77	52.6	10	152	56	3.08	12.4
1016x305x222 +	222.0	970.3	300.0	16.0	21.1	30.0	868.1	7.11	54.3	10	152	52	3.06	13.8
914x419x388	388.0	921.0	420.5	21.4	36.6	24.1	799.6	5.74	37.4	13	210	62	3.44	8.87
914x419x343	343.3	911.8	418.5	19.4	32.0	24.1	799.6	6.54	41.2	12	210	58	3.42	9.96
914x305x289	289.1	926.6	307.7	19.5	32.0	19.1	824.4	4.81	42.3	12	156	52	3.01	10.4
914x305x253	253.4	918.4	305.5	17.3	27.9	19.1	824.4	5.47	47.7	11	156	48	2.99	11.8
914x305x224	224.2	910.4	304.1	15.9	23.9	19.1	824.4	6.36	51.8	10	156	44	2.97	13.2
914x305x201	200.9	903.0	303.3	15.1	20.2	19.1	824.4	7.51	54.6	10	156	40	2.96	14.7
838x292x226	226.5	850.9	293.8	16.1	26.8	17.8	761.7	5.48	47.3	10	150	46	2.81	12.4
838x292x194	193.8	840.7	292.4	14.7	21.7	17.8	761.7	6.74	51.8	9	150	40	2.79	14.4
838x292x176	175.9	834.9	291.7	14.0	18.8	17.8	761.7	7.76	54.4	9	150	38	2.78	15.8
762x267x197	196.8	769.8	268.0	15.6	25.4	16.5	686.0	5.28	44.0	10	138	42	2.55	13.0
762x267x173	173.0	762.2	266.7	14.3	21.6	16.5	686.0	6.17	48.0	9	138	40	2.53	14.6
762x267x147	146.9	754.0	265.2	12.8	17.5	16.5	686.0	7.58	53.6	8	138	34	2.51	17.1
762x267x134	133.9	750.0	264.4	12.0	15.5	16.5	686.0	8.53	57.2	8	138	32	2.51	18.7
686x254x170	170.2	692.9	255.8	14.5	23.7	15.2	615.1	5.40	42.4	9	132	40	2.35	13.8
686x254x152	152.4	687.5	254.5	13.2	21.0	15.2	615.1	6.06	46.6	9	132	38	2.34	15.4
686x254x140	140.1	683.5	253.7	12.4	19.0	15.2	615.1	6.68	49.6	8	132	36	2.33	16.6
686x254x125	125.2	677.9	253.0	11.7	16.2	15.2	615.1	7.81	52.6	8	132	32	2.32	18.5
610x305x238	238.1	635.8	311.4	18.4	31.4	16.5	540.0	4.96	29.3	11	158	48	2.45	10.3
610x305x179	179.0	620.2	307.1	14.1	23.6	16.5	540.0	6.51	38.3	9	158	42	2.41	13.5
610x305x149	149.2	612.4	304.8	11.8	19.7	16.5	540.0	7.74	45.8	8	158	38	2.39	16.0
610x229x140	139.9	617.2	230.2	13.1	22.1	12.7	547.6	5.21	41.8	9	120	36	2.11	15.1
610x229x125	125.1	612.2	229.0	11.9	19.6	12.7	547.6	5.84	46.0	8	120	34	2.09	16.7
610x229x113	113.0	607.6	228.2	11.1	17.3	12.7	547.6	6.60	49.3	8	120	30	2.08	18.4
610x229x101	101.2	602.6	227.6	10.5	14.8	12.7	547.6	7.69	52.2	7	120	28	2.07	20.5
610x178x100 +	100.3	607.4	179.2	11.3	17.2	12.7	547.6	5.21	48.5	8	94	30	1.89	18.8
610x178x92 +	92.2	603.0	178.8	10.9	15.0	12.7	547.6	5.96	50.2	7	94	28	1.88	20.4
610x178x82 +	81.8	598.6	177.9	10.0	12.8	12.7	547.6	6.95	54.8	7	94	26	1.87	22.9
533x312x273 +	273.3	577.1	320.2	21.1	37.6	12.7	476.5	4.26	22.6	13	160	52	2.37	8.67
533x312x219 +	218.8	560.3	317.4	18.3	29.2	12.7	476.5	5.43	26.0	11	160	42	2.33	10.7
533x312x182 +	181.5	550.7	314.5	15.2	24.4	12.7	476.5	6.44	31.3	10	160	38	2.31	12.7
533x312x151 +	150.6	542.5	312.0	12.7	20.3	12.7	476.5	7.68	37.5	8	160	34	2.29	15.2

+ These sections are in addition to the range of BS 4 sections.

BS 5950-1: 2000
BS 4-1: 2005

UNIVERSAL BEAMS

Advance UKB



Properties

Section Designation	Second Moment of Area		Radius of Gyration		Elastic Modulus		Plastic Modulus		Buckling Parameter	Torsional Index	Warping Constant	Torsional Constant	Area of Section
	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	u	x	H	J	A
	cm^4	cm^4	cm	cm	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3			dm^6	cm^4	cm^2
1016x305x487 +	1022000	26700	40.6	6.57	19700	1730	23200	2800	0.867	21.1	64.4	4300	620
1016x305x437 +	910000	23400	40.4	6.49	17700	1540	20800	2470	0.868	23.1	56.0	3190	557
1016x305x393 +	808000	20500	40.2	6.40	15900	1350	18500	2170	0.868	25.5	48.4	2330	500
1016x305x349 +	723000	18500	40.3	6.44	14300	1220	16600	1940	0.872	27.9	43.3	1720	445
1016x305x314 +	644000	16200	40.1	6.37	12900	1080	14800	1710	0.872	30.7	37.7	1260	400
1016x305x272 +	554000	14000	40.0	6.35	11200	934	12800	1470	0.873	35.0	32.2	835	347
1016x305x249 +	481000	11800	39.0	6.09	9820	784	11300	1240	0.861	39.8	26.8	582	317
1016x305x222 +	408000	9550	38.0	5.81	8410	636	9810	1020	0.850	45.7	21.5	390	283
914x419x388	720000	45400	38.2	9.59	15600	2160	17700	3340	0.885	26.7	88.9	1730	494
914x419x343	626000	39200	37.8	9.46	13700	1870	15500	2890	0.883	30.1	75.8	1190	437
914x305x289	504000	15600	37.0	6.51	10900	1010	12600	1600	0.867	31.9	31.2	926	368
914x305x253	436000	13300	36.8	6.42	9500	871	10900	1370	0.866	36.2	26.4	626	323
914x305x224	376000	11200	36.3	6.27	8270	739	9530	1160	0.861	41.3	22.1	422	286
914x305x201	325000	9420	35.7	6.07	7200	621	8350	982	0.854	46.8	18.4	291	256
838x292x226	340000	11400	34.3	6.27	7980	773	9160	1210	0.870	35.0	19.3	514	289
838x292x194	279000	9070	33.6	6.06	6640	620	7640	974	0.862	41.6	15.2	306	247
838x292x176	246000	7800	33.1	5.90	5890	535	6810	842	0.856	46.5	13.0	221	224
762x267x197	240000	8170	30.9	5.71	6230	610	7170	958	0.869	33.2	11.3	404	251
762x267x173	205000	6850	30.5	5.58	5390	514	6200	807	0.864	38.1	9.39	267	220
762x267x147	169000	5460	30.0	5.40	4470	411	5160	647	0.858	45.2	7.40	159	187
762x267x134	151000	4790	29.7	5.30	4020	362	4640	570	0.854	49.8	6.46	119	171
686x254x170	170000	6630	28.0	5.53	4920	518	5630	811	0.872	31.8	7.42	308	217
686x254x152	150000	5780	27.8	5.46	4370	455	5000	710	0.871	35.5	6.42	220	194
686x254x140	136000	5180	27.6	5.39	3990	409	4560	638	0.868	38.7	5.72	169	178
686x254x125	118000	4380	27.2	5.24	3480	346	3990	542	0.862	43.9	4.80	116	159
610x305x238	209000	15800	26.3	7.23	6590	1020	7490	1570	0.886	21.3	14.5	785	303
610x305x179	153000	11400	25.9	7.07	4930	743	5550	1140	0.886	27.7	10.2	340	228
610x305x149	126000	9310	25.7	7.00	4110	611	4590	937	0.886	32.7	8.17	200	190
610x229x140	112000	4510	25.0	5.03	3620	391	4140	611	0.875	30.6	3.99	216	178
610x229x125	98600	3930	24.9	4.97	3220	343	3680	535	0.873	34.1	3.45	154	159
610x229x113	87300	3430	24.6	4.88	2870	301	3280	469	0.870	38.0	2.99	111	144
610x229x101	75800	2910	24.2	4.75	2520	256	2880	400	0.864	43.1	2.52	77.0	129
610x178x100 +	72500	1660	23.8	3.60	2390	185	2790	296	0.855	38.7	1.44	95.0	128
610x178x92 +	64600	1440	23.4	3.50	2140	161	2510	258	0.848	42.8	1.24	71.0	117
610x178x82 +	55900	1210	23.2	3.40	1870	136	2190	218	0.843	48.5	1.04	48.8	104
533x312x273 +	199000	20600	23.9	7.69	6890	1290	7870	1990	0.890	15.9	15.0	1290	348
533x312x219 +	151000	15600	23.3	7.48	5400	982	6120	1510	0.884	19.8	11.0	642	279
533x312x182 +	123000	12700	23.1	7.40	4480	806	5040	1240	0.885	23.5	8.77	373	231
533x312x151 +	101000	10300	22.9	7.32	3710	659	4150	1010	0.885	27.9	7.01	216	192

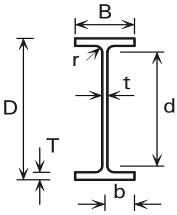
+ These sections are in addition to the range of BS 4 sections.

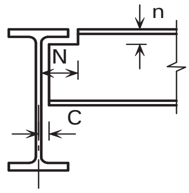
BS 5950-1: 2000

BS 4-1: 2005

UNIVERSAL BEAMS

Advance UKB





Dimensions

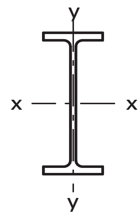
Section Designation	Mass per Metre	Depth of Section	Width of Section	Thickness		Root Radius	Depth between Fillets	Ratios for Local Buckling		Dimensions for Detailing			Surface Area	
				Web	Flange			Flange	Web	End Clearance	Notch		Per Metre	Per Tonne
		D	B	t	T	r	d	b/T	d/t	C	N	n		
	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm			mm	mm	mm	m^2	m^2
533x210x138 +	138.3	549.1	213.9	14.7	23.6	12.7	476.5	4.53	32.4	9	110	38	1.90	13.7
533x210x122	122.0	544.5	211.9	12.7	21.3	12.7	476.5	4.97	37.5	8	110	34	1.89	15.5
533x210x109	109.0	539.5	210.8	11.6	18.8	12.7	476.5	5.61	41.1	8	110	32	1.88	17.2
533x210x101	101.0	536.7	210.0	10.8	17.4	12.7	476.5	6.03	44.1	7	110	32	1.87	18.5
533x210x92	92.1	533.1	209.3	10.1	15.6	12.7	476.5	6.71	47.2	7	110	30	1.86	20.2
533x210x82	82.2	528.3	208.8	9.6	13.2	12.7	476.5	7.91	49.6	7	110	26	1.85	22.5
533x165x85 +	84.8	534.9	166.5	10.3	16.5	12.7	476.5	5.05	46.3	7	90	30	1.69	19.9
533x165x75 +	74.7	529.1	165.9	9.7	13.6	12.7	476.5	6.10	49.1	7	90	28	1.68	22.5
533x165x66 +	65.7	524.7	165.1	8.9	11.4	12.7	476.5	7.24	53.5	6	90	26	1.67	25.4
457x191x161 +	161.4	492.0	199.4	18.0	32.0	10.2	407.6	3.12	22.6	11	102	44	1.73	10.7
457x191x133 +	133.3	480.6	196.7	15.3	26.3	10.2	407.6	3.74	26.6	10	102	38	1.70	12.8
457x191x106 +	105.8	469.2	194.0	12.6	20.6	10.2	407.6	4.71	32.3	8	102	32	1.67	15.8
457x191x98	98.3	467.2	192.8	11.4	19.6	10.2	407.6	4.92	35.8	8	102	30	1.67	17.0
457x191x89	89.3	463.4	191.9	10.5	17.7	10.2	407.6	5.42	38.8	7	102	28	1.66	18.6
457x191x82	82.0	460.0	191.3	9.9	16.0	10.2	407.6	5.98	41.2	7	102	28	1.65	20.1
457x191x74	74.3	457.0	190.4	9.0	14.5	10.2	407.6	6.57	45.3	7	102	26	1.64	22.1
457x191x67	67.1	453.4	189.9	8.5	12.7	10.2	407.6	7.48	48.0	6	102	24	1.63	24.3
457x152x82	82.1	465.8	155.3	10.5	18.9	10.2	407.6	4.11	38.8	7	84	30	1.51	18.4
457x152x74	74.2	462.0	154.4	9.6	17.0	10.2	407.6	4.54	42.5	7	84	28	1.50	20.2
457x152x67	67.2	458.0	153.8	9.0	15.0	10.2	407.6	5.13	45.3	7	84	26	1.50	22.3
457x152x60	59.8	454.6	152.9	8.1	13.3	10.2	407.6	5.75	50.3	6	84	24	1.49	24.9
457x152x52	52.3	449.8	152.4	7.6	10.9	10.2	407.6	6.99	53.6	6	84	22	1.48	28.3
406x178x85 +	85.3	417.2	181.9	10.9	18.2	10.2	360.4	5.00	33.1	7	96	30	1.52	17.8
406x178x74	74.2	412.8	179.5	9.5	16.0	10.2	360.4	5.61	37.9	7	96	28	1.51	20.4
406x178x67	67.1	409.4	178.8	8.8	14.3	10.2	360.4	6.25	41.0	6	96	26	1.50	22.3
406x178x60	60.1	406.4	177.9	7.9	12.8	10.2	360.4	6.95	45.6	6	96	24	1.49	24.8
406x178x54	54.1	402.6	177.7	7.7	10.9	10.2	360.4	8.15	46.8	6	96	22	1.48	27.3
406x140x53 +	53.3	406.6	143.3	7.9	12.9	10.2	360.4	5.55	45.6	6	78	24	1.35	25.3
406x140x46	46.0	403.2	142.2	6.8	11.2	10.2	360.4	6.35	53.0	5	78	22	1.34	29.1
406x140x39	39.0	398.0	141.8	6.4	8.6	10.2	360.4	8.24	56.3	5	78	20	1.33	34.1
356x171x67	67.1	363.4	173.2	9.1	15.7	10.2	311.6	5.52	34.2	7	94	26	1.38	20.6
356x171x57	57.0	358.0	172.2	8.1	13.0	10.2	311.6	6.62	38.5	6	94	24	1.37	24.1
356x171x51	51.0	355.0	171.5	7.4	11.5	10.2	311.6	7.46	42.1	6	94	22	1.36	26.7
356x171x45	45.0	351.4	171.1	7.0	9.7	10.2	311.6	8.82	44.5	6	94	20	1.36	30.2
356x127x39	39.1	353.4	126.0	6.6	10.7	10.2	311.6	5.89	47.2	5	70	22	1.18	30.2
356x127x33	33.1	349.0	125.4	6.0	8.5	10.2	311.6	7.38	51.9	5	70	20	1.17	35.4
305x165x54	54.0	310.4	166.9	7.9	13.7	8.9	265.2	6.09	33.6	6	90	24	1.26	23.3
305x165x46	46.1	306.6	165.7	6.7	11.8	8.9	265.2	7.02	39.6	5	90	22	1.25	27.1
305x165x40	40.3	303.4	165.0	6.0	10.2	8.9	265.2	8.09	44.2	5	90	20	1.24	30.8

+ These sections are in addition to the range of BS 4 sections.

BS 5950-1: 2000
BS 4-1: 2005

UNIVERSAL BEAMS

Advance UKB



Properties

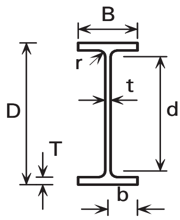
Section Designation	Second Moment of Area		Radius of Gyration		Elastic Modulus		Plastic Modulus		Buckling Parameter	Torsional Index	Warping Constant	Torsional Constant	Area of Section
	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	u	x	H	J	A
	cm^4	cm^4	cm	cm	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3			dm^6	cm^4	cm^2
533x210x138 +	86100	3860	22.1	4.68	3140	361	3610	568	0.873	25.0	2.67	250	176
533x210x122	76000	3390	22.1	4.67	2790	320	3200	500	0.877	27.6	2.32	178	155
533x210x109	66800	2940	21.9	4.60	2480	279	2830	436	0.875	30.9	1.99	126	139
533x210x101	61500	2690	21.9	4.57	2290	256	2610	399	0.874	33.2	1.81	101	129
533x210x92	55200	2390	21.7	4.51	2070	228	2360	355	0.872	36.5	1.60	75.7	117
533x210x82	47500	2010	21.3	4.38	1800	192	2060	300	0.864	41.6	1.33	51.5	105
533x165x85 +	48500	1270	21.2	3.44	1820	153	2100	243	0.862	35.5	0.857	73.8	108
533x165x75 +	41100	1040	20.8	3.30	1550	125	1810	200	0.853	41.1	0.691	47.9	95.2
533x165x66 +	35000	859	20.5	3.20	1340	104	1560	166	0.847	47.0	0.566	32.0	83.7
457x191x161 +	79800	4250	19.7	4.55	3240	426	3780	672	0.882	16.4	2.25	515	206
457x191x133 +	63800	3350	19.4	4.44	2660	341	3070	535	0.880	19.6	1.73	292	170
457x191x106 +	48900	2510	19.0	4.32	2080	259	2390	405	0.877	24.4	1.27	146	135
457x191x98	45700	2350	19.1	4.33	1960	243	2230	379	0.881	25.7	1.18	121	125
457x191x89	41000	2090	19.0	4.29	1770	218	2010	338	0.880	28.3	1.04	90.7	114
457x191x82	37100	1870	18.8	4.23	1610	196	1830	304	0.877	30.9	0.922	69.2	104
457x191x74	33300	1670	18.8	4.20	1460	176	1650	272	0.877	33.9	0.818	51.8	94.6
457x191x67	29400	1450	18.5	4.12	1300	153	1470	237	0.872	37.9	0.705	37.1	85.5
457x152x82	36600	1180	18.7	3.37	1570	153	1810	240	0.873	27.4	0.591	89.2	105
457x152x74	32700	1050	18.6	3.33	1410	136	1630	213	0.873	30.1	0.518	65.9	94.5
457x152x67	28900	913	18.4	3.27	1260	119	1450	187	0.869	33.6	0.448	47.7	85.6
457x152x60	25500	795	18.3	3.23	1120	104	1290	163	0.868	37.5	0.387	33.8	76.2
457x152x52	21400	645	17.9	3.11	950	84.6	1100	133	0.859	43.9	0.311	21.4	66.6
406x178x85 +	31700	1830	17.1	4.11	1520	201	1730	313	0.881	24.4	0.728	93.0	109
406x178x74	27300	1550	17.0	4.04	1320	172	1500	267	0.882	27.6	0.608	62.8	94.5
406x178x67	24300	1360	16.9	3.99	1190	153	1350	237	0.880	30.5	0.533	46.1	85.5
406x178x60	21600	1200	16.8	3.97	1060	135	1200	209	0.880	33.8	0.466	33.3	76.5
406x178x54	18700	1020	16.5	3.85	930	115	1050	178	0.871	38.3	0.392	23.1	69.0
406x140x53 +	18300	635	16.4	3.06	899	88.6	1030	139	0.870	34.1	0.246	29.0	67.9
406x140x46	15700	538	16.4	3.03	778	75.7	888	118	0.871	38.9	0.207	19.0	58.6
406x140x39	12500	410	15.9	2.87	629	57.8	724	90.8	0.858	47.5	0.155	10.7	49.7
356x171x67	19500	1360	15.1	3.99	1070	157	1210	243	0.886	24.4	0.412	55.7	85.5
356x171x57	16000	1110	14.9	3.91	896	129	1010	199	0.882	28.8	0.330	33.4	72.6
356x171x51	14100	968	14.8	3.86	796	113	896	174	0.881	32.1	0.286	23.8	64.9
356x171x45	12100	811	14.5	3.76	687	94.8	775	147	0.874	36.8	0.237	15.8	57.3
356x127x39	10200	358	14.3	2.68	576	56.8	659	89.0	0.871	35.2	0.105	15.1	49.8
356x127x33	8250	280	14.0	2.58	473	44.7	543	70.2	0.863	42.2	0.081	8.79	42.1
305x165x54	11700	1060	13.0	3.93	754	127	846	196	0.889	23.6	0.234	34.8	68.8
305x165x46	9900	896	13.0	3.90	646	108	720	166	0.891	27.1	0.195	22.2	58.7
305x165x40	8500	764	12.9	3.86	560	92.6	623	142	0.889	31.0	0.164	14.7	51.3

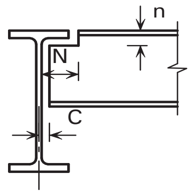
+ These sections are in addition to the range of BS 4 sections.

BS 5950-1: 2000
BS 4-1: 2005

UNIVERSAL BEAMS

Advance UKB



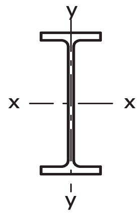


Dimensions

Section Designation	Mass per Metre	Depth of Section	Width of Section	Thickness		Root Radius	Depth between Fillets	Ratios for Local Buckling		Dimensions for Detailing			Surface Area	
				Web	Flange			Flange	Web	End Clearance	Notch		Per Metre	Per Tonne
		D	B	t	T	r	d	b/T	d/t	C	N	n		
	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm			mm	mm	mm	m^2	m^2
305x127x48	48.1	311.0	125.3	9.0	14.0	8.9	265.2	4.48	29.5	7	70	24	1.09	22.7
305x127x42	41.9	307.2	124.3	8.0	12.1	8.9	265.2	5.14	33.2	6	70	22	1.08	25.8
305x127x37	37.0	304.4	123.4	7.1	10.7	8.9	265.2	5.77	37.4	6	70	20	1.07	28.9
305x102x33	32.8	312.7	102.4	6.6	10.8	7.6	275.9	4.74	41.8	5	58	20	1.01	30.8
305x102x28	28.2	308.7	101.8	6.0	8.8	7.6	275.9	5.78	46.0	5	58	18	1.00	35.5
305x102x25	24.8	305.1	101.6	5.8	7.0	7.6	275.9	7.26	47.6	5	58	16	0.992	40.0
254x146x43	43.0	259.6	147.3	7.2	12.7	7.6	219.0	5.80	30.4	6	82	22	1.08	25.1
254x146x37	37.0	256.0	146.4	6.3	10.9	7.6	219.0	6.72	34.8	5	82	20	1.07	28.9
254x146x31	31.1	251.4	146.1	6.0	8.6	7.6	219.0	8.49	36.5	5	82	18	1.06	34.0
254x102x28	28.3	260.4	102.2	6.3	10.0	7.6	225.2	5.11	35.7	5	58	18	0.904	31.9
254x102x25	25.2	257.2	101.9	6.0	8.4	7.6	225.2	6.07	37.5	5	58	16	0.897	35.7
254x102x22	22.0	254.0	101.6	5.7	6.8	7.6	225.2	7.47	39.5	5	58	16	0.890	40.5
203x133x30	30.0	206.8	133.9	6.4	9.6	7.6	172.4	6.97	26.9	5	74	18	0.923	30.8
203x133x25	25.1	203.2	133.2	5.7	7.8	7.6	172.4	8.54	30.2	5	74	16	0.915	36.5
203x102x23	23.1	203.2	101.8	5.4	9.3	7.6	169.4	5.47	31.4	5	60	18	0.790	34.2
178x102x19	19.0	177.8	101.2	4.8	7.9	7.6	146.8	6.41	30.6	4	60	16	0.738	38.7
152x89x16	16.0	152.4	88.7	4.5	7.7	7.6	121.8	5.76	27.1	4	54	16	0.638	40.0
127x76x13	13.0	127.0	76.0	4.0	7.6	7.6	96.6	5.00	24.2	4	46	16	0.537	41.4

UNIVERSAL BEAMS

Advance UKB

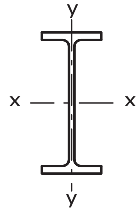


Properties

Section Designation	Second Moment of Area		Radius of Gyration		Elastic Modulus		Plastic Modulus		Buckling Parameter	Torsional Index	Warping Constant	Torsional Constant	Area of Section
	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	u	x	H	J	A
	cm^4	cm^4	cm	cm	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3			dm^6	cm^4	cm^2
305x127x48	9570	461	12.5	2.74	616	73.6	711	116	0.873	23.3	0.102	31.8	61.2
305x127x42	8200	389	12.4	2.70	534	62.6	614	98.4	0.872	26.5	0.0846	21.1	53.4
305x127x37	7170	336	12.3	2.67	471	54.5	539	85.4	0.872	29.7	0.0725	14.8	47.2
305x102x33	6500	194	12.5	2.15	416	37.9	481	60.0	0.866	31.6	0.0442	12.2	41.8
305x102x28	5370	155	12.2	2.08	348	30.5	403	48.4	0.859	37.4	0.0349	7.40	35.9
305x102x25	4460	123	11.9	1.97	292	24.2	342	38.8	0.846	43.4	0.027	4.77	31.6
254x146x43	6540	677	10.9	3.52	504	92.0	566	141	0.891	21.2	0.103	23.9	54.8
254x146x37	5540	571	10.8	3.48	433	78.0	483	119	0.890	24.3	0.0857	15.3	47.2
254x146x31	4410	448	10.5	3.36	351	61.3	393	94.1	0.880	29.6	0.0660	8.55	39.7
254x102x28	4000	179	10.5	2.22	308	34.9	353	54.8	0.874	27.5	0.0280	9.57	36.1
254x102x25	3410	149	10.3	2.15	266	29.2	306	46.0	0.866	31.5	0.0230	6.42	32.0
254x102x22	2840	119	10.1	2.06	224	23.5	259	37.3	0.856	36.4	0.0182	4.15	28.0
203x133x30	2900	385	8.71	3.17	280	57.5	314	88.2	0.881	21.5	0.0374	10.3	38.2
203x133x25	2340	308	8.56	3.10	230	46.2	258	70.9	0.877	25.6	0.0294	5.96	32.0
203x102x23	2100	164	8.46	2.36	207	32.2	234	49.7	0.888	22.5	0.0154	7.02	29.4
178x102x19	1360	137	7.48	2.37	153	27.0	171	41.6	0.888	22.6	0.0099	4.41	24.3
152x89x16	834	89.8	6.41	2.10	109	20.2	123	31.2	0.890	19.6	0.00470	3.56	20.3
127x76x13	473	55.7	5.35	1.84	74.6	14.7	84.2	22.6	0.895	16.3	0.00200	2.85	16.5

UNIVERSAL BEAMS

Advance UKB



Reduced plastic modulus under axial load

Section Designation	Plastic Modulus Axis x-x	Major Axis Reduced Modulus					Plastic Modulus Axis y-y	Minor Axis Reduced Modulus				
		Lower Values of n		Change Formula At n =	Higher Values of n			Lower Values of n		Change Formula At n =	Higher Values of n	
	cm^3	K1	K2		K3	K4	cm^3	K1	K2		K3	K4
1016x305x487 +	23200	23200	32000	0.449	3120	9.31	2800	2800	927	0.501	8880	0.0768
1016x305x437 +	20800	20800	28800	0.448	2540	10.3	2470	2470	756	0.496	7910	0.0747
1016x305x393 +	18500	18500	25600	0.453	2060	11.3	2170	2170	615	0.496	7120	0.0641
1016x305x349 +	16600	16600	23500	0.440	1640	12.7	1940	1940	491	0.478	6190	0.0858
1016x305x314 +	14800	14800	20900	0.443	1330	14.0	1710	1710	400	0.477	5570	0.0770
1016x305x272 +	12800	12800	18200	0.441	1000	16.1	1470	1470	304	0.471	4860	0.0720
1016x305x249 +	11300	11300	15200	0.483	837	17.6	1240	1240	256	0.510	4830	-0.0158
1016x305x222 +	9810	9810	12500	0.525	667	19.6	1020	1020	206	0.549	4740	-0.105
914x419x388	17700	17700	28500	0.367	1450	14.7	3340	3340	662	0.399	8330	0.246
914x419x343	15500	15500	24600	0.376	1140	16.5	2890	2890	524	0.405	7460	0.226
914x305x289	12600	12600	17400	0.457	1100	14.5	1600	1600	365	0.491	5290	0.0703
914x305x253	10900	10900	15100	0.462	854	16.4	1370	1370	284	0.492	4670	0.0555
914x305x224	9530	9530	12900	0.480	672	18.4	1160	1160	225	0.506	4280	0.0165
914x305x201	8350	8350	10900	0.509	540	20.4	982	982	181	0.533	4060	-0.0427
838x292x226	9160	9160	13000	0.444	711	16.3	1210	1210	245	0.474	3900	0.0898
838x292x194	7640	7640	10400	0.475	522	18.9	974	974	181	0.500	3510	0.0275
838x292x176	6810	6810	8960	0.498	430	20.7	842	842	150	0.522	3340	-0.0207
762x267x197	7170	7170	10100	0.447	588	15.4	958	958	205	0.478	3100	0.0848
762x267x173	6200	6200	8460	0.467	454	17.5	807	807	159	0.495	2800	0.0474
762x267x147	5160	5160	6830	0.492	330	20.4	647	647	116	0.516	2500	-0.0073
762x267x134	4640	4640	6090	0.505	276	22.2	570	570	97.5	0.526	2360	-0.0414
686x254x170	5630	5630	8120	0.431	460	15.3	811	811	170	0.463	2480	0.118
686x254x152	5000	5000	7130	0.439	370	17.0	710	710	137	0.468	2240	0.102
686x254x140	4560	4560	6390	0.450	312	18.5	638	638	116	0.476	2080	0.0832
686x254x125	3990	3990	5400	0.475	250	20.6	542	542	93.2	0.499	1950	0.0311
610x305x238	7490	7490	12500	0.348	737	12.1	1570	1570	361	0.386	3650	0.291
610x305x179	5550	5550	9220	0.354	423	15.7	1140	1140	210	0.384	2750	0.272
610x305x149	4590	4590	7650	0.356	296	18.6	937	937	147	0.380	2290	0.264
610x229x140	4140	4140	6050	0.422	344	15.0	611	611	128	0.454	1790	0.143
610x229x125	3680	3680	5310	0.429	276	16.6	535	535	103	0.458	1610	0.129
610x229x113	3280	3280	4670	0.442	227	18.3	469	469	85.3	0.468	1500	0.0966
610x229x101	2880	2880	3960	0.466	183	20.3	400	400	69.0	0.490	1410	0.0445
610x178x100 +	2790	2790	3620	0.506	229	16.0	296	296	67.4	0.536	1190	-0.0368
610x178x92 +	2510	2510	3140	0.534	191	17.4	258	258	56.8	0.562	1140	-0.0831
610x178x82 +	2190	2190	2700	0.551	152	19.5	218	218	45.2	0.576	1060	-0.124
533x312x273 +	7870	7870	14300	0.304	946	9.62	1990	1990	525	0.350	4030	0.384
533x312x219 +	6120	6120	10600	0.329	613	11.7	1510	1510	347	0.368	3330	0.329
533x312x182 +	5040	5040	8780	0.330	424	14.0	1240	1240	242	0.362	2730	0.329
533x312x151 +	4150	4150	7260	0.332	295	16.6	1010	1010	170	0.359	2270	0.320

+ These sections are in addition to the range of BS 4 sections.

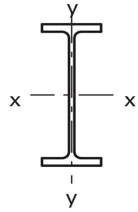
$n = F/(A\ p_y)$, where F is the Factored axial load, A is the gross cross sectional area and p_y is the design strength of the section.

For lower values of n, the reduced plastic modulus, $S_r = K1 - K2.n^2$, for both major and minor axis bending.

For higher values of n, the reduced plastic modulus, $S_r = K3(1-n)(K4+n)$, for both major and minor axis bending.

UNIVERSAL BEAMS

Advance UKB



Reduced plastic modulus under axial load

Section Designation	Plastic Modulus Axis x-x cm^3	Major Axis Reduced Modulus					Plastic Modulus Axis y-y cm^3	Minor Axis Reduced Modulus				
		Lower Values of n		Change Formula At n =	Higher Values of n			Lower Values of n		Change Formula At n =	Higher Values of n	
		K1	K2		K3	K4		K1	K2		K3	K4
533x210x138 +	3610	3610	5270	0.419	362	12.3	568	568	141	0.459	1640	0.147
533x210x122	3200	3200	4730	0.411	283	13.9	500	500	110	0.446	1410	0.165
533x210x109	2830	2830	4160	0.419	229	15.4	436	436	89.5	0.450	1280	0.140
533x210x101	2610	2610	3850	0.420	198	16.5	399	399	77.5	0.449	1200	0.133
533x210x92	2360	2360	3390	0.433	164	18.1	355	355	64.2	0.460	1100	0.116
533x210x82	2060	2060	2870	0.459	132	20.0	300	300	52.2	0.483	1040	0.050
533x165x85 +	2100	2100	2830	0.479	175	15.5	243	243	54.5	0.510	884	0.018
533x165x75 +	1810	1810	2340	0.511	137	17.4	200	200	42.8	0.539	833	-0.0520
533x165x66 +	1560	1560	1970	0.534	106	19.7	166	166	33.4	0.558	768	-0.101
457x191x161 +	3780	3780	5890	0.374	532	8.52	672	672	216	0.430	1660	0.239
457x191x133 +	3070	3070	4720	0.385	367	10.1	535	535	150	0.433	1370	0.217
457x191x106 +	2390	2390	3620	0.399	235	12.5	405	405	97.1	0.438	1110	0.184
457x191x98	2230	2230	3430	0.390	203	13.4	379	379	83.6	0.426	996	0.209
457x191x89	2010	2010	3090	0.394	169	14.6	338	338	70.1	0.427	918	0.192
457x191x82	1830	1830	2730	0.407	141	15.9	304	304	58.8	0.438	845	0.177
457x191x74	1650	1650	2490	0.407	118	17.4	272	272	49.0	0.435	771	0.167
457x191x67	1470	1470	2150	0.425	96.2	19.1	237	237	40.3	0.451	720	0.128
457x152x82	1810	1810	2630	0.428	177	12.8	240	240	59.2	0.466	729	0.118
457x152x74	1630	1630	2330	0.435	145	14.1	213	213	48.3	0.469	657	0.111
457x152x67	1450	1450	2040	0.450	119	15.5	187	187	40.0	0.482	611	0.0780
457x152x60	1290	1290	1790	0.455	94.9	17.2	163	163	31.9	0.483	546	0.0675
457x152x52	1100	1100	1460	0.488	72.8	19.6	133	133	24.7	0.513	509	-0.00231
406x178x85 +	1730	1730	2730	0.381	163	12.9	313	313	71.2	0.417	816	0.215
406x178x74	1500	1500	2350	0.383	124	14.7	267	267	54.1	0.415	698	0.216
406x178x67	1350	1350	2080	0.392	102	16.1	237	237	44.6	0.421	639	0.196
406x178x60	1200	1200	1850	0.393	82.2	17.9	209	209	36.0	0.420	572	0.191
406x178x54	1050	1050	1550	0.425	67.0	19.7	178	178	29.6	0.449	546	0.123
406x140x53 +	1030	1030	1460	0.443	80.4	16.2	139	139	28.3	0.473	447	0.0890
406x140x46	888	888	1260	0.442	60.4	18.6	118	118	21.3	0.468	383	0.0871
406x140x39	724	724	965	0.490	43.5	21.7	90.8	90.8	15.5	0.513	359	-0.0185
356x171x67	1210	1210	2010	0.353	106	13.7	243	243	50.3	0.387	582	0.272
356x171x57	1010	1010	1630	0.370	76.5	16.0	199	199	36.8	0.399	507	0.233
356x171x51	896	896	1420	0.379	61.4	17.8	174	174	29.7	0.405	458	0.216
356x171x45	775	775	1170	0.406	48.0	20.0	147	147	23.4	0.429	423	0.159
356x127x39	659	659	939	0.440	49.2	16.9	89.0	89.0	17.5	0.468	290	0.0829
356x127x33	543	543	739	0.473	35.3	19.8	70.2	70.2	12.7	0.497	261	0.0127
305x165x54	846	846	1500	0.325	70.9	14.1	196	196	38.1	0.356	432	0.329
305x165x46	720	720	1290	0.323	52.0	16.3	166	166	28.1	0.350	365	0.332
305x165x40	623	623	1100	0.331	39.9	18.5	142	142	21.7	0.355	323	0.312

+ These sections are in addition to the range of BS 4 sections.

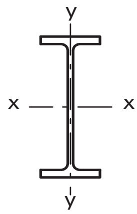
n = F/(A p_y), where F is the Factored axial load, A is the gross cross sectional area and p_y is the design strength of the section.

For lower values of n, the reduced plastic modulus, $S_r = K1 - K2.n^2$, for both major and minor axis bending.

For higher values of n, the reduced plastic modulus, $S_r = K3(1-n)(K4+n)$, for both major and minor axis bending.

UNIVERSAL BEAMS

Advance UKB



Reduced plastic modulus under axial load

Section Designation	Plastic Modulus Axis x-x	Major Axis Reduced Modulus					Plastic Modulus Axis y-y	Minor Axis Reduced Modulus				
		Lower Values of n		Change Formula At n =	Higher Values of n			Lower Values of n		Change Formula At n =	Higher Values of n	
	cm^3	K1	K2		K3	K4	cm^3	K1	K2		K3	K4
305x127x48	711	711	1040	0.416	74.7	11.7	116	116	30.1	0.457	334	0.147
305x127x42	614	614	891	0.424	57.4	13.3	98.4	98.4	23.2	0.460	295	0.127
305x127x37	539	539	784	0.426	45.1	14.9	85.4	85.4	18.3	0.458	260	0.119
305x102x33	481	481	662	0.460	42.7	14.3	60.0	60.0	14.0	0.494	202	0.0583
305x102x28	403	403	537	0.487	31.7	16.5	48.4	48.4	10.4	0.516	183	-0.00185
305x102x25	342	342	430	0.534	24.6	18.6	38.8	38.8	8.18	0.560	178	-0.100
254x146x43	566	566	1040	0.308	51.0	13.0	141	141	28.9	0.341	296	0.365
254x146x37	483	483	884	0.313	38.0	14.9	119	119	21.8	0.342	255	0.352
254x146x31	393	393	657	0.354	27.0	17.5	94.1	94.1	15.7	0.380	229	0.266
254x102x28	353	353	517	0.420	31.9	13.7	54.8	54.8	12.5	0.454	163	0.132
254x102x25	306	306	427	0.451	25.1	15.4	46.0	46.0	9.95	0.482	152	0.0700
254x102x22	259	259	344	0.489	19.3	17.4	37.3	37.3	7.72	0.517	144	-0.0130
203x133x30	314	314	570	0.314	27.2	13.5	88.2	88.2	17.6	0.346	190	0.346
203x133x25	258	258	449	0.334	19.2	15.9	70.9	70.9	12.6	0.362	164	0.299
203x102x23	234	234	400	0.339	21.2	13.1	49.7	49.7	10.6	0.373	116	0.288
178x102x19	171	171	308	0.320	14.6	13.8	41.6	41.6	8.30	0.351	93.4	0.316
152x89x16	123	123	229	0.304	11.6	12.3	31.2	31.2	6.76	0.338	66.9	0.346
127x76x13	84.2	84.2	170	0.271	8.96	10.7	22.6	22.6	5.36	0.308	44.8	0.400

$n = F/(A\ p_y)$, where F is the Factored axial load, A is the gross cross sectional area and p_y is the design strength of the section.

For lower values of n, the reduced plastic modulus, $S_r = K1 - K2.n^2$, for both major and minor axis bending.

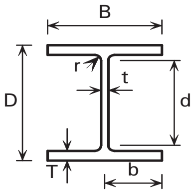
For higher values of n, the reduced plastic modulus, $S_r = K3(1-n)(K4+n)$, for both major and minor axis bending.

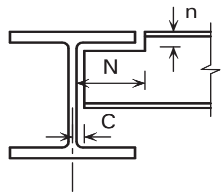
[BLANK PAGE]

BS 5950-1: 2000
BS 4-1: 2005

UNIVERSAL COLUMNS

Advance UKC





Dimensions

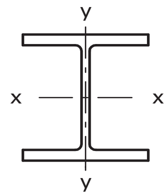
Section Designation	Mass per Metre	Depth of Section	Width of Section	Thickness		Root Radius	Depth between Fillets	Ratios for Local Buckling		Dimensions for Detailing			Surface Area	
				Web	Flange			Flange	Web	End Clearance	Notch		Per Metre	Per Tonne
		D	B	t	T	r	d	b/T	d/t	C	N	n		
	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm			mm	mm	mm	m^2	m^2
356x406x634	633.9	474.6	424.0	47.6	77.0	15.2	290.2	2.75	6.10	26	200	94	2.52	3.98
356x406x551	551.0	455.6	418.5	42.1	67.5	15.2	290.2	3.10	6.89	23	200	84	2.47	4.48
356x406x467	467.0	436.6	412.2	35.8	58.0	15.2	290.2	3.55	8.11	20	200	74	2.42	5.18
356x406x393	393.0	419.0	407.0	30.6	49.2	15.2	290.2	4.14	9.48	17	200	66	2.38	6.06
356x406x340	339.9	406.4	403.0	26.6	42.9	15.2	290.2	4.70	10.9	15	200	60	2.35	6.91
356x406x287	287.1	393.6	399.0	22.6	36.5	15.2	290.2	5.47	12.8	13	200	52	2.31	8.05
356x406x235	235.1	381.0	394.8	18.4	30.2	15.2	290.2	6.54	15.8	11	200	46	2.28	9.70
356x368x202	201.9	374.6	374.7	16.5	27.0	15.2	290.2	6.94	17.6	10	190	44	2.19	10.8
356x368x177	177.0	368.2	372.6	14.4	23.8	15.2	290.2	7.83	20.2	9	190	40	2.17	12.3
356x368x153	152.9	362.0	370.5	12.3	20.7	15.2	290.2	8.95	23.6	8	190	36	2.16	14.1
356x368x129	129.0	355.6	368.6	10.4	17.5	15.2	290.2	10.5	27.9	7	190	34	2.14	16.6
305x305x283	282.9	365.3	322.2	26.8	44.1	15.2	246.7	3.65	9.21	15	158	60	1.94	6.86
305x305x240	240.0	352.5	318.4	23.0	37.7	15.2	246.7	4.22	10.7	14	158	54	1.91	7.96
305x305x198	198.1	339.9	314.5	19.1	31.4	15.2	246.7	5.01	12.9	12	158	48	1.87	9.44
305x305x158	158.1	327.1	311.2	15.8	25.0	15.2	246.7	6.22	15.6	10	158	42	1.84	11.6
305x305x137	136.9	320.5	309.2	13.8	21.7	15.2	246.7	7.12	17.90	9	158	38	1.82	13.3
305x305x118	117.9	314.5	307.4	12.0	18.7	15.2	246.7	8.22	20.6	8	158	34	1.81	15.4
305x305x97	96.9	307.9	305.3	9.9	15.4	15.2	246.7	9.91	24.9	7	158	32	1.79	18.5
254x254x167	167.1	289.1	265.2	19.2	31.7	12.7	200.3	4.18	10.4	12	134	46	1.58	9.46
254x254x132	132.0	276.3	261.3	15.3	25.3	12.7	200.3	5.16	13.1	10	134	38	1.55	11.7
254x254x107	107.1	266.7	258.8	12.8	20.5	12.7	200.3	6.31	15.6	8	134	34	1.52	14.2
254x254x89	88.9	260.3	256.3	10.3	17.3	12.7	200.3	7.41	19.4	7	134	30	1.50	16.9
254x254x73	73.1	254.1	254.6	8.6	14.2	12.7	200.3	8.96	23.3	6	134	28	1.49	20.4
203x203x127 +	127.5	241.4	213.9	18.1	30.1	10.2	160.8	3.55	8.88	11	108	42	1.28	10.0
203x203x113 +	113.5	235.0	212.1	16.3	26.9	10.2	160.8	3.94	9.87	10	108	38	1.27	11.2
203x203x100 +	99.6	228.6	210.3	14.5	23.7	10.2	160.8	4.44	11.1	9	108	34	1.25	12.6
203x203x86	86.1	222.2	209.1	12.7	20.5	10.2	160.8	5.10	12.7	8	110	32	1.24	14.4
203x203x71	71.0	215.8	206.4	10.0	17.3	10.2	160.8	5.97	16.1	7	110	28	1.22	17.2
203x203x60	60.0	209.6	205.8	9.4	14.2	10.2	160.8	7.25	17.1	7	110	26	1.21	20.2
203x203x52	52.0	206.2	204.3	7.9	12.5	10.2	160.8	8.17	20.4	6	110	24	1.20	23.1
203x203x46	46.1	203.2	203.6	7.2	11.0	10.2	160.8	9.25	22.3	6	110	22	1.19	25.8
152x152x51 +	51.2	170.2	157.4	11.0	15.7	7.6	123.6	5.01	11.2	8	84	24	0.935	18.3
152x152x44 +	44.0	166.0	155.9	9.5	13.6	7.6	123.6	5.73	13.0	7	84	22	0.924	21.0
152x152x37	37.0	161.8	154.4	8.0	11.5	7.6	123.6	6.71	15.5	6	84	20	0.912	24.7
152x152x30	30.0	157.6	152.9	6.5	9.4	7.6	123.6	8.13	19.0	5	84	18	0.901	30.0
152x152x23	23.0	152.4	152.2	5.8	6.8	7.6	123.6	11.20	21.3	5	84	16	0.889	38.7

+ These sections are in addition to the range of BS 4 sections.

BS 5950-1: 2000
BS 4-1: 2005

UNIVERSAL COLUMNS

Advance UKC



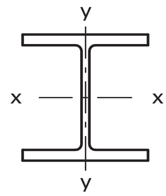
Properties

Section Designation	Second Moment of Area Axis x-x cm^4	Second Moment of Area Axis y-y cm^4	Radius of Gyration Axis x-x cm	Radius of Gyration Axis y-y cm	Elastic Modulus Axis x-x cm^3	Elastic Modulus Axis y-y cm^3	Plastic Modulus Axis x-x cm^3	Plastic Modulus Axis y-y cm^3	Buckling Parameter u	Torsional Index x	Warping Constant H dm^6	Torsional Constant J cm^4	Area of Section A cm^2
356x406x634	275000	98100	18.4	11.0	11600	4630	14200	7110	0.843	5.46	38.8	13700	808
356x406x551	227000	82700	18.0	10.9	9960	3950	12100	6060	0.841	6.05	31.1	9240	702
356x406x467	183000	67800	17.5	10.7	8380	3290	10000	5030	0.839	6.86	24.3	5810	595
356x406x393	147000	55400	17.1	10.5	7000	2720	8220	4150	0.837	7.86	18.9	3550	501
356x406x340	123000	46900	16.8	10.4	6030	2330	7000	3540	0.836	8.85	15.5	2340	433
356x406x287	99900	38700	16.5	10.3	5070	1940	5810	2950	0.835	10.2	12.3	1440	366
356x406x235	79100	31000	16.3	10.2	4150	1570	4690	2380	0.834	12.1	9.54	812	299
356x368x202	66300	23700	16.1	9.60	3540	1260	3970	1920	0.844	13.4	7.16	558	257
356x368x177	57100	20500	15.9	9.54	3100	1100	3460	1670	0.844	15.0	6.09	381	226
356x368x153	48600	17600	15.8	9.49	2680	948	2960	1430	0.844	17.0	5.11	251	195
356x368x129	40200	14600	15.6	9.43	2260	793	2480	1200	0.844	19.9	4.18	153	164
305x305x283	78900	24600	14.8	8.27	4320	1530	5110	2340	0.855	7.65	6.35	2030	360
305x305x240	64200	20300	14.5	8.15	3640	1280	4250	1950	0.854	8.74	5.03	1270	306
305x305x198	50900	16300	14.2	8.04	3000	1040	3440	1580	0.854	10.2	3.88	734	252
305x305x158	38700	12600	13.9	7.90	2370	808	2680	1230	0.851	12.5	2.87	378	201
305x305x137	32800	10700	13.7	7.83	2050	692	2300	1050	0.851	14.2	2.39	249	174
305x305x118	27700	9060	13.6	7.77	1760	589	1960	895	0.850	16.2	1.98	161	150
305x305x97	22200	7310	13.4	7.69	1450	479	1590	726	0.850	19.3	1.56	91.2	123
254x254x167	30000	9870	11.9	6.81	2080	744	2420	1140	0.851	8.49	1.63	626	213
254x254x132	22500	7530	11.6	6.69	1630	576	1870	878	0.850	10.3	1.19	319	168
254x254x107	17500	5930	11.3	6.59	1310	458	1480	697	0.848	12.4	0.898	172	136
254x254x89	14300	4860	11.2	6.55	1100	379	1220	575	0.850	14.5	0.717	102	113
254x254x73	11400	3910	11.1	6.48	898	307	992	465	0.849	17.3	0.562	57.6	93.1
203x203x127 +	15400	4920	9.75	5.50	1280	460	1520	704	0.854	7.38	0.549	427	162
203x203x113 +	13300	4290	9.59	5.45	1130	404	1330	618	0.853	8.11	0.464	305	145
203x203x100 +	11300	3680	9.44	5.39	988	350	1150	534	0.852	9.02	0.386	210	127
203x203x86	9450	3130	9.28	5.34	850	299	977	456	0.850	10.2	0.318	137	110
203x203x71	7620	2540	9.18	5.30	706	246	799	374	0.853	11.9	0.250	80.2	90.4
203x203x60	6120	2060	8.96	5.20	584	201	656	305	0.846	14.1	0.197	47.2	76.4
203x203x52	5260	1780	8.91	5.18	510	174	567	264	0.848	15.8	0.167	31.8	66.3
203x203x46	4570	1550	8.82	5.13	450	152	497	231	0.847	17.7	0.143	22.2	58.7
152x152x51 +	3230	1020	7.04	3.96	379	130	438	199	0.848	10.1	0.061	48.8	65.2
152x152x44 +	2700	860	6.94	3.92	326	110	372	169	0.848	11.5	0.050	31.7	56.1
152x152x37	2210	706	6.85	3.87	273	91.5	309	140	0.848	13.3	0.040	19.2	47.1
152x152x30	1750	560	6.76	3.83	222	73.3	248	112	0.849	16.0	0.031	10.5	38.3
152x152x23	1250	400	6.54	3.70	164	52.6	182	80.1	0.840	20.7	0.021	4.63	29.2

+ These sections are in addition to the range of BS 4 sections.

UNIVERSAL COLUMNS

Advance UKC



Reduced plastic modulus under axial load

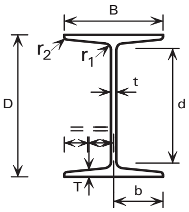
Section Designation	Plastic Modulus Axis x-x	Major Axis Reduced Modulus					Plastic Modulus Axis y-y	Minor Axis Reduced Modulus				
		Lower Values Of n		Change Formula At n =	Higher Values Of n			Lower Values Of n		Change Formula At n =	Higher Values Of n	
	cm^3	K1	K2		K3	K4	cm^3	K1	K2		K3	K4
356x406x634	14200	14200	34300	0.189	3850	3.98	7110	7110	3440	0.280	10600	0.616
356x406x551	12100	12100	29300	0.192	2940	4.43	6060	6060	2700	0.273	9130	0.610
356x406x467	10000	10000	24700	0.193	2150	5.05	5030	5030	2030	0.263	7630	0.607
356x406x393	8220	8220	20500	0.196	1540	5.81	4150	4150	1500	0.256	6380	0.599
356x406x340	7000	7000	17600	0.197	1160	6.56	3540	3540	1150	0.250	5460	0.597
356x406x287	5810	5810	14800	0.198	839	7.58	2950	2950	851	0.243	4590	0.592
356x406x235	4690	4690	12100	0.197	566	9.06	2380	2380	587	0.234	3700	0.595
356x368x202	3970	3970	10000	0.206	441	9.92	1920	1920	441	0.241	3060	0.575
356x368x177	3460	3460	8870	0.204	343	11.1	1670	1670	347	0.235	2680	0.570
356x368x153	2960	2960	7730	0.202	257	12.8	1430	1430	263	0.228	2300	0.573
356x368x129	2480	2480	6470	0.203	182	15.0	1200	1200	189	0.226	1920	0.573
305x305x283	5110	5110	12100	0.206	1010	5.54	2340	2340	887	0.272	3670	0.579
305x305x240	4250	4250	10200	0.208	735	6.34	1950	1950	664	0.265	3100	0.569
305x305x198	3440	3440	8310	0.210	505	7.48	1580	1580	467	0.258	2530	0.568
305x305x158	2680	2680	6390	0.218	325	9.13	1230	1230	309	0.257	2020	0.548
305x305x137	2300	2300	5480	0.220	245	10.4	1050	1050	236	0.254	1740	0.542
305x305x118	1960	1960	4690	0.222	183	11.9	895	895	179	0.252	1500	0.533
305x305x97	1590	1590	3820	0.223	124	14.3	726	726	123	0.248	1230	0.529
254x254x167	2420	2420	5910	0.203	428	6.20	1140	1140	392	0.261	1790	0.579
254x254x132	1870	1870	4610	0.206	270	7.59	878	878	255	0.252	1390	0.574
254x254x107	1480	1480	3610	0.212	179	9.15	697	697	173	0.251	1130	0.560
254x254x89	1220	1220	3100	0.206	125	10.8	575	575	123	0.237	923	0.570
254x254x73	992	992	2520	0.208	85.1	12.9	465	465	85.3	0.235	763	0.553
203x203x127 +	1520	1520	3620	0.202	307	5.37	704	704	272	0.270	1090	0.590
203x203x113 +	1330	1330	3220	0.204	248	5.87	618	618	224	0.264	977	0.574
203x203x100 +	1150	1150	2780	0.207	192	6.57	534	534	176	0.261	851	0.570
203x203x86	977	977	2380	0.209	145	7.45	456	456	136	0.257	738	0.559
203x203x71	799	799	2040	0.200	99.0	8.85	374	374	94.7	0.239	590	0.580
203x203x60	656	656	1550	0.223	70.9	10.3	305	305	69.6	0.258	514	0.530
203x203x52	567	567	1390	0.216	53.8	11.7	264	264	53.3	0.246	440	0.541
203x203x46	497	497	1200	0.222	42.3	13.1	231	231	42.4	0.249	392	0.526
152x152x51 +	438	438	966	0.234	67.5	7.22	199	199	62.4	0.287	338	0.516
152x152x44 +	372	372	828	0.235	50.5	8.23	169	169	47.4	0.281	289	0.512
152x152x37	309	309	693	0.236	35.9	9.61	140	140	34.3	0.275	241	0.508
152x152x30	248	248	564	0.236	24.0	11.6	112	112	23.3	0.267	195	0.501
152x152x23	182	182	368	0.276	14.0	14.9	80.1	80.1	14.0	0.303	157	0.418

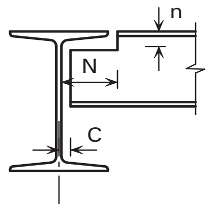
+ These sections are in addition to the range of BS 4 sections.

[BLANK PAGE]

BS 5950-1: 2000
BS 4-1: 2005

JOISTS

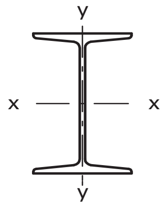




Dimensions

Section Designation	Mass per Metre	Depth of Section	Width of Section	Thickness		Radii		Depth between Fillets	Ratios for Local Buckling		Dimensions for Detailing			Surface Area	
				Web	Flange	Root	Toe		Flange	Web	End Clearance	Notch		Per Metre	Per Tonne
		D	B	t	T	r_1	r_2	d	b/T	d/t	C	N	n		
	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm			mm	mm	mm	m^2	m^2
254x203x82	82.0	254.0	203.2	10.2	19.9	19.6	9.7	166.6	5.11	16.3	7	104	44	1.21	14.8
254x114x37	37.2	254.0	114.3	7.6	12.8	12.4	6.1	199.3	4.46	26.2	6	60	28	0.899	24.2
203x152x52	52.3	203.2	152.4	8.9	16.5	15.5	7.6	133.2	4.62	15.0	6	78	36	0.932	17.8
152x127x37	37.3	152.4	127.0	10.4	13.2	13.5	6.6	94.3	4.81	9.07	7	66	30	0.737	19.8
127x114x29	29.3	127.0	114.3	10.2	11.5	9.9	4.8	79.5	4.97	7.79	7	60	24	0.646	22.0
127x114x27	26.9	127.0	114.3	7.4	11.4	9.9	5.0	79.5	5.01	10.7	6	60	24	0.650	24.2
127x76x16	16.5	127.0	76.2	5.6	9.6	9.4	4.6	86.5	3.97	15.4	5	42	22	0.512	31.0
114x114x27	27.1	114.3	114.3	9.5	10.7	14.2	3.2	60.8	5.34	6.40	7	60	28	0.618	22.8
102x102x23	23.0	101.6	101.6	9.5	10.3	11.1	3.2	55.2	4.93	5.81	7	54	24	0.549	23.9
102x44x7	7.5	101.6	44.5	4.3	6.1	6.9	3.3	74.6	3.65	17.3	4	28	14	0.350	46.6
89x89x19	19.5	88.9	88.9	9.5	9.9	11.1	3.2	44.2	4.49	4.65	7	46	24	0.476	24.4
76x76x15	15.0	76.2	80.0	8.9	8.4	9.4	4.6	38.1	4.76	4.28	6	42	20	0.419	27.9
76x76x13	12.8	76.2	76.2	5.1	8.4	9.4	4.6	38.1	4.54	7.47	5	42	20	0.411	32.1

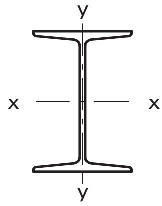
JOISTS



Properties

Section Designation	Second Moment of Area		Radius of Gyration		Elastic Modulus		Plastic Modulus		Buckling Parameter	Torsional Index	Warping Constant	Torsional Constant	Area of Section
	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	u	x	H	J	A
	cm^4	cm^4	cm	cm	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3			dm^6	cm^4	cm^2
254x203x82	12000	2280	10.7	4.67	947	224	1080	371	0.888	11.0	0.312	152	105
254x114x37	5080	269	10.4	2.39	400	47.1	459	79.1	0.885	18.7	0.0392	25.2	47.3
203x152x52	4800	816	8.49	3.50	472	107	541	176	0.890	10.7	0.0711	64.8	66.6
152x127x37	1820	378	6.19	2.82	239	59.6	279	99.8	0.867	9.33	0.0183	33.9	47.5
127x114x29	979	242	5.12	2.54	154	42.3	181	70.8	0.853	8.77	0.00807	20.8	37.4
127x114x27	946	236	5.26	2.63	149	41.3	172	68.2	0.868	9.31	0.00788	16.9	34.2
127x76x16	571	60.8	5.21	1.70	90.0	16.0	104	26.4	0.891	11.8	0.00210	6.72	21.1
114x114x27	736	224	4.62	2.55	129	39.2	151	65.8	0.839	7.92	0.00601	18.9	34.5
102x102x23	486	154	4.07	2.29	95.6	30.3	113	50.6	0.836	7.42	0.00321	14.2	29.3
102x44x7	153	7.82	4.01	0.907	30.1	3.51	35.4	6.03	0.872	14.9	0.000178	1.25	9.50
89x89x19	307	101	3.51	2.02	69.0	22.8	82.7	38.0	0.830	6.58	0.00158	11.5	24.9
76x76x15	172	60.9	3.00	1.78	45.2	15.2	54.2	25.8	0.820	6.42	0.000700	6.83	19.1
76x76x13	158	51.8	3.12	1.79	41.5	13.6	48.7	22.4	0.853	7.21	0.000595	4.59	16.2

JOISTS



Reduced plastic modulus under axial load

Section Designation	Plastic Modulus Axis x-x	Major Axis Reduced Modulus						Plastic Modulus Axis y-y	Minor Axis Reduced Modulus				
		Lower Values Of n		Change Formula		Higher Values Of n			Lower Values Of n		Change Formula	Higher Values Of n	
	cm^3	K1	K2	At n_1 =	At n_2 =	K3	K4	cm^3	K1	K2	At n =	K3	K4
254x203x82	1080	1080	2680	0.195	0.504	134	8.88	371	371	107	0.248	597	0.548
254x114x37	459	459	737	0.354	0.576	49.0	11.3	79.1	79.1	22.1	0.408	190	0.236
203x152x52	541	541	1250	0.213	0.490	72.7	8.30	176	176	54.5	0.272	292	0.511
152x127x37	279	279	542	0.256	0.533	44.4	7.15	99.8	99.8	37.0	0.334	186	0.412
127x114x29	181	181	342	0.262	0.542	30.5	6.77	70.8	70.8	27.5	0.347	132	0.407
127x114x27	172	172	396	0.208	0.507	25.6	7.48	68.2	68.2	23.1	0.275	112	0.523
127x76x16	104	104	198	0.272	0.500	14.6	8.18	26.4	26.4	8.75	0.337	50.3	0.388
114x114x27	151	151	313	0.234	0.557	26.0	6.58	65.8	65.8	26.0	0.315	121	0.420
102x102x23	113	113	226	0.239	0.534	21.2	6.04	50.6	50.6	21.2	0.329	90.8	0.428
102x44x7	35.4	35.4	52.5	0.391	0.575	5.07	8.52	6.03	6.03	2.22	0.460	16.1	0.143
89x89x19	82.7	82.7	163	0.240	0.515	17.4	5.36	38.0	38.0	17.4	0.340	67.9	0.416
76x76x15	54.2	54.2	103	0.250	0.533	11.4	5.37	25.8	25.8	12.0	0.354	47.4	0.404
76x76x13	48.7	48.7	129	0.170	0.463	8.66	6.15	22.4	22.4	8.66	0.239	34.2	0.576

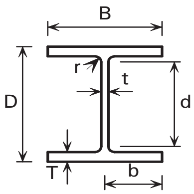
$n = F/(A\ p_y)$, where F is the Factored axial load, A is the gross cross sectional area and p_y is the design strength of the section.
For values of n lower than n_1, the reduced plastic modulus, $S_{rx} = S_{rx1} = K1-K2.n^2$, for major axis bending.
For values of n higher than n_2, the reduced plastic modulus, $S_{rx} = S_{rx2} = K3(1-n)(K4+n)$, for major axis bending.
For values of n between n_1 and n_2, the reduced plastic modulus, $S_{rx} = S_{rx1} + (S_{rx2} - S_{rx1})(n-n_1)/(n_2-n_1)$, for major axis bending.
For lower values of n, the reduced plastic modulus, $S_{ry} = K1 - K2.n^2$, for minor axis bending.
For higher values of n, the reduced plastic modulus, $S_{ry} = K3(1-n)(K4+n)$, for minor axis bending.

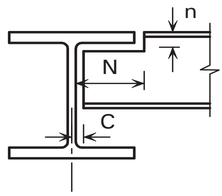
[BLANK PAGE]

BS 5950-1: 2000
BS 4-1: 2005

UNIVERSAL BEARING PILES

Advance UKBP





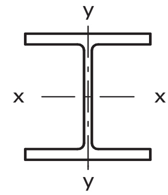
Dimensions

Section Designation	Mass per Metre	Depth of Section	Width of Section	Thickness		Root Radius	Depth between Fillets	Ratios for Local Buckling		Dimensions for Detailing			Surface Area	
				Web	Flange			Flange	Web	End Clearance	Notch		Per Metre	Per Tonne
		D	B	t	T	r	d	b/T	d/t	C	N	n		
	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm			mm	mm	mm	m^2	m^2
356x368x174	173.9	361.4	378.5	20.3	20.4	15.2	290.2	9.28	14.3	12	190	36	2.17	12.5
356x368x152	152.0	356.4	376.0	17.8	17.9	15.2	290.2	10.5	16.3	11	190	34	2.16	14.2
356x368x133	133.0	352.0	373.8	15.6	15.7	15.2	290.2	11.9	18.6	10	190	32	2.14	16.1
356x368x109	108.9	346.4	371.0	12.8	12.9	15.2	290.2	14.4	22.7	8	190	30	2.13	19.5
305x305x223	222.9	337.9	325.7	30.3	30.4	15.2	246.7	5.36	8.14	17	158	46	1.89	8.49
305x305x186	186.0	328.3	320.9	25.5	25.6	15.2	246.7	6.27	9.67	15	158	42	1.86	10.0
305x305x149	149.1	318.5	316.0	20.6	20.7	15.2	246.7	7.63	12.0	12	158	36	1.83	12.3
305x305x126	126.1	312.3	312.9	17.5	17.6	15.2	246.7	8.89	14.1	11	158	34	1.82	14.4
305x305x110	110.0	307.9	310.7	15.3	15.4	15.2	246.7	10.1	16.1	10	158	32	1.80	16.4
305x305x95	94.9	303.7	308.7	13.3	13.3	15.2	246.7	11.6	18.5	9	158	30	1.79	18.9
305x305x88	88.0	301.7	307.8	12.4	12.3	15.2	246.7	12.5	19.9	8	158	28	1.78	20.3
305x305x79	78.9	299.3	306.4	11.0	11.1	15.2	246.7	13.8	22.4	8	158	28	1.78	22.5
254x254x85	85.1	254.3	260.4	14.4	14.3	12.7	200.3	9.10	13.9	9	134	28	1.50	17.6
254x254x71	71.0	249.7	258.0	12.0	12.0	12.7	200.3	10.8	16.7	8	134	26	1.49	20.9
254x254x63	63.0	247.1	256.6	10.6	10.7	12.7	200.3	12.0	18.9	7	134	24	1.48	23.5
203x203x54	53.9	204.0	207.7	11.3	11.4	10.2	160.8	9.11	14.2	8	110	22	1.20	22.2
203x203x45	44.9	200.2	205.9	9.5	9.5	10.2	160.8	10.8	16.9	7	110	20	1.19	26.4

BS 5950-1: 2000
BS 4-1: 2005

UNIVERSAL BEARING PILES

Advance UKBP



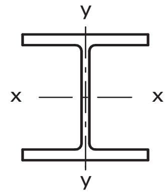
Properties

Section Designation	Second Moment of Area		Radius of Gyration		Elastic Modulus		Plastic Modulus		Buckling Parameter	Torsional Index	Warping Constant	Torsional Constant	Area of Section
	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	u	x	H	J	A
	cm^4	cm^4	cm	cm	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3			dm^6	cm^4	cm^2
356x368x174	51000	18500	15.2	9.13	2820	976	3190	1500	0.822	15.8	5.37	330	221
356x368x152	44000	15900	15.1	9.05	2470	845	2770	1290	0.821	17.9	4.55	223	194
356x368x133	38000	13700	15.0	8.99	2160	732	2410	1120	0.823	20.1	3.87	151	169
356x368x109	30600	11000	14.9	8.90	1770	592	1960	903	0.822	24.2	3.05	84.6	139
305x305x223	52700	17600	13.6	7.87	3120	1080	3650	1680	0.826	9.55	4.15	943	284
305x305x186	42600	14100	13.4	7.73	2600	881	3000	1370	0.827	11.1	3.24	560	237
305x305x149	33100	10900	13.2	7.58	2080	691	2370	1070	0.828	13.5	2.42	295	190
305x305x126	27400	9000	13.1	7.49	1760	575	1990	885	0.828	15.7	1.95	182	161
305x305x110	23600	7710	13.0	7.42	1530	496	1720	762	0.830	17.7	1.65	122	140
305x305x95	20000	6530	12.9	7.35	1320	423	1470	648	0.830	20.2	1.38	80.0	121
305x305x88	18400	5980	12.8	7.31	1220	389	1360	595	0.830	21.6	1.25	64.2	112
305x305x79	16400	5330	12.8	7.28	1100	348	1220	531	0.834	23.8	1.11	46.9	100
254x254x85	12300	4220	10.6	6.24	966	324	1090	498	0.826	15.6	0.607	81.8	108
254x254x71	10100	3440	10.6	6.17	807	267	904	409	0.826	18.4	0.486	48.4	90.4
254x254x63	8860	3020	10.5	6.13	717	235	799	360	0.827	20.5	0.421	34.3	80.2
203x203x54	5030	1710	8.55	4.98	493	164	557	252	0.827	15.8	0.158	32.7	68.7
203x203x45	4100	1380	8.46	4.92	410	134	459	206	0.828	18.6	0.126	19.2	57.2

BS 5950-1: 2000
BS 4-1: 2005

UNIVERSAL BEARING PILES

Advance UKBP



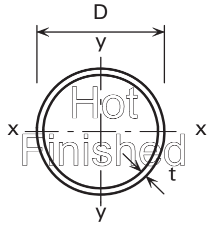
Reduced plastic modulus under axial load

Section Designation	Plastic Modulus Axis x-x	Major Axis Reduced Modulus					Plastic Modulus Axis y-y	Minor Axis Reduced Modulus				
		Lower Values Of n		Change Formula At n =	Higher Values Of n			Lower Values Of n		Change Formula At n =	Higher Values Of n	
	cm^3	K1	K2		K3	K4	cm^3	K1	K2		K3	K4
356x368x174	3190	3190	6040	0.294	324	11.4	1500	1500	339	0.331	3010	0.394
356x368x152	2770	2770	5270	0.295	249	12.8	1290	1290	263	0.328	2620	0.390
356x368x133	2410	2410	4600	0.295	192	14.5	1120	1120	204	0.324	2280	0.386
356x368x109	1960	1960	3760	0.296	130	17.5	903	903	139	0.320	1870	0.380
305x305x223	3650	3650	6650	0.296	619	6.75	1680	1680	597	0.361	3320	0.395
305x305x186	3000	3000	5500	0.298	437	7.89	1370	1370	428	0.353	2740	0.387
305x305x149	2370	2370	4380	0.301	285	9.60	1070	1070	283	0.346	2180	0.378
305x305x126	1990	1990	3690	0.302	206	11.2	885	885	207	0.340	1830	0.371
305x305x110	1720	1720	3210	0.303	158	12.7	762	762	159	0.336	1590	0.366
305x305x95	1470	1470	2750	0.305	118	14.5	648	648	120	0.334	1380	0.358
305x305x88	1360	1360	2530	0.307	102	15.6	595	595	104	0.334	1280	0.351
305x305x79	1220	1220	2300	0.303	82.4	17.3	531	531	84.3	0.328	1140	0.354
254x254x85	1090	1090	2040	0.300	113	11.2	498	498	115	0.338	1030	0.375
254x254x71	904	904	1700	0.300	79.2	13.3	409	409	81.8	0.332	851	0.370
254x254x63	799	799	1520	0.298	62.7	14.8	360	360	65.1	0.327	752	0.369
203x203x54	557	557	1050	0.298	56.8	11.3	252	252	57.9	0.335	518	0.378
203x203x45	459	459	862	0.301	39.8	13.4	206	206	40.9	0.332	431	0.367

$n = F/(A\ p_y)$, where F is the Factored axial load, A is the gross cross sectional area and p_y is the design strength of the section.
For lower values of n, the reduced plastic modulus, $S_r = K1 - K2.n^2$, for both major and minor axis bending.
For higher values of n, the reduced plastic modulus, $S_r = K3(1-n)(K4+n)$, for both major and minor axis bending.

HOT-FINISHED
CIRCULAR HOLLOW SECTIONS

Celsius® CHS

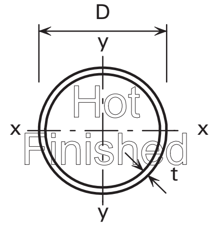


Dimensions and properties

Section Designation		Mass per Metre	Area of Section	Ratio for Local Buckling	Second Moment of Area	Radius of Gyration	Elastic Modulus	Plastic Modulus	Torsional Constants		Surface Area	
Outside Diameter D mm	Thickness t mm	kg/m	A cm²	D/t	I cm⁴	r cm	Z cm³	S cm³	J cm⁴	C cm³	Per Metre m²	Per Tonne m²
26.9	3.2	1.87	2.38	8.41	1.70	0.846	1.27	1.81	3.41	2.53	0.085	45.2
33.7	2.6	1.99	2.54	13.0	3.09	1.10	1.84	2.52	6.19	3.67	0.106	53.1
	3.2	2.41	3.07	10.5	3.60	1.08	2.14	2.99	7.21	4.28	0.106	44.0
	4.0	2.93	3.73	8.43	4.19	1.06	2.49	3.55	8.38	4.97	0.106	36.1
42.4	2.6	2.55	3.25	16.3	6.46	1.41	3.05	4.12	12.9	6.10	0.133	52.2
	3.2	3.09	3.94	13.3	7.62	1.39	3.59	4.93	15.2	7.19	0.133	43.1
	4.0	3.79	4.83	10.6	8.99	1.36	4.24	5.92	18.0	8.48	0.133	35.2
	5.0	4.61	5.87	8.48	10.5	1.33	4.93	7.04	20.9	9.86	0.133	28.9
48.3	3.2	3.56	4.53	15.1	11.6	1.60	4.80	6.52	23.2	9.59	0.152	42.6
	4.0	4.37	5.57	12.1	13.8	1.57	5.70	7.87	27.5	11.4	0.152	34.7
	5.0	5.34	6.80	9.66	16.2	1.54	6.69	9.42	32.3	13.4	0.152	28.4
60.3	3.2	4.51	5.74	18.8	23.5	2.02	7.78	10.4	46.9	15.6	0.189	42.0
	4.0	5.55	7.07	15.1	28.2	2.00	9.34	12.7	56.3	18.7	0.189	34.1
	5.0	6.82	8.69	12.1	33.5	1.96	11.1	15.3	67.0	22.2	0.189	27.8
76.1	2.9	5.24	6.67	26.2	44.7	2.59	11.8	15.5	89.5	23.5	0.239	45.7
	3.2	5.75	7.33	23.8	48.8	2.58	12.8	17.0	97.6	25.6	0.239	41.6
	4.0	7.11	9.06	19.0	59.1	2.55	15.5	20.8	118	31.0	0.239	33.6
	5.0	8.77	11.2	15.2	70.9	2.52	18.6	25.3	142	37.3	0.239	27.3
88.9	3.2	6.76	8.62	27.8	79.2	3.03	17.8	23.5	158	35.6	0.279	41.3
	4.0	8.38	10.7	22.2	96.3	3.00	21.7	28.9	193	43.3	0.279	33.3
	5.0	10.3	13.2	17.8	116	2.97	26.2	35.2	233	52.4	0.279	27.0
	6.3	12.8	16.3	14.1	140	2.93	31.5	43.1	280	63.1	0.279	21.8
114.3	3.2	8.77	11.2	35.7	172	3.93	30.2	39.5	345	60.4	0.359	41.0
	3.6	9.83	12.5	31.8	192	3.92	33.6	44.1	384	67.2	0.359	36.5
	4.0	10.9	13.9	28.6	211	3.90	36.9	48.7	422	73.9	0.359	33.0
	5.0	13.5	17.2	22.9	257	3.87	45.0	59.8	514	89.9	0.359	26.6
	6.3	16.8	21.4	18.1	313	3.82	54.7	73.6	625	109	0.359	21.4
139.7	5.0	16.6	21.2	27.9	481	4.77	68.8	90.8	961	138	0.439	26.4
	6.3	20.7	26.4	22.2	589	4.72	84.3	112	1177	169	0.439	21.2
	8.0	26.0	33.1	17.5	720	4.66	103	139	1441	206	0.439	16.9
	10.0	32.0	40.7	14.0	862	4.60	123	169	1724	247	0.439	13.7
168.3	5.0	20.1	25.7	33.7	856	5.78	102	133	1710	203	0.529	26.3
	6.3	25.2	32.1	26.7	1050	5.73	125	165	2110	250	0.529	21.0
	8.0	31.6	40.3	21.0	1300	5.67	154	206	2600	308	0.529	16.7
	10.0	39.0	49.7	16.8	1560	5.61	186	251	3130	372	0.529	13.5
	12.5	48.0	61.2	13.5	1870	5.53	222	304	3740	444	0.529	11.0
193.7	5.0	23.3	29.6	38.7	1320	6.67	136	178	2640	273	0.609	26.2
	6.3	29.1	37.1	30.7	1630	6.63	168	221	3260	337	0.609	20.9
	8.0	36.6	46.7	24.2	2020	6.57	208	276	4030	416	0.609	16.6
	10.0	45.3	57.7	19.4	2440	6.50	252	338	4880	504	0.609	13.4
	12.5	55.9	71.2	15.5	2930	6.42	303	411	5870	606	0.609	10.9

HOT-FINISHED CIRCULAR HOLLOW SECTIONS

Celsius® CHS



Dimensions and properties

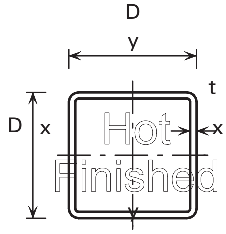
Section Designation: Outside Diameter D mm	Section Designation: Thickness t mm	Mass per Metre kg/m	Area of Section A cm^2	Ratio for Local Buckling D/t	Second Moment of Area I cm^4	Radius of Gyration r cm	Elastic Modulus Z cm^3	Plastic Modulus S cm^3	Torsional Constants J cm^4	Torsional Constants C cm^3	Surface Area Per Metre m^2	Surface Area Per Tonne m^2
219.1	5.0	26.4	33.6	43.8	1930	7.57	176	229	3860	352	0.688	26.1
	6.3	33.1	42.1	34.8	2390	7.53	218	285	4770	436	0.688	20.8
	8.0	41.6	53.1	27.4	2960	7.47	270	357	5920	540	0.688	16.5
	10.0	51.6	65.7	21.9	3600	7.40	328	438	7200	657	0.688	13.3
	12.5	63.7	81.1	17.5	4350	7.32	397	534	8690	793	0.688	10.8
	14.2	71.8	91.4	15.4	4820	7.26	440	597	9640	880	0.688	9.59
	16.0	80.1	102	13.7	5300	7.20	483	661	10600	967	0.688	8.59
244.5	8.0	46.7	59.4	30.6	4160	8.37	340	448	8320	681	0.768	16.5
	10.0	57.8	73.7	24.5	5070	8.30	415	550	10100	830	0.768	13.3
	12.5	71.5	91.1	19.6	6150	8.21	503	673	12300	1010	0.768	10.7
	14.2	80.6	103	17.2	6840	8.16	559	754	13700	1120	0.768	9.52
	16.0	90.2	115	15.3	7530	8.10	616	837	15100	1230	0.768	8.52
273.0	6.3	41.4	52.8	43.3	4700	9.43	344	448	9390	688	0.858	20.7
	8.0	52.3	66.6	34.1	5850	9.37	429	562	11700	857	0.858	16.4
	10.0	64.9	82.6	27.3	7150	9.31	524	692	14300	1050	0.858	13.2
	12.5	80.3	102	21.8	8700	9.22	637	849	17400	1270	0.858	10.7
	14.2	90.6	115	19.2	9700	9.16	710	952	19400	1420	0.858	9.46
	16.0	101	129	17.1	10700	9.10	784	1060	21400	1570	0.858	8.46
323.9	6.3	49.3	62.9	51.4	7930	11.2	490	636	15900	979	1.02	20.6
	8.0	62.3	79.4	40.5	9910	11.2	612	799	19800	1220	1.02	16.3
	10.0	77.4	98.6	32.4	12200	11.1	751	986	24300	1500	1.02	13.1
	12.5	96.0	122	25.9	14800	11.0	917	1210	29700	1830	1.02	10.6
	14.2	108	138	22.8	16600	11.0	1030	1360	33200	2050	1.02	9.38
	16.0	121	155	20.2	18400	10.9	1140	1520	36800	2270	1.02	8.38
355.6	14.2	120	152	25.0	22200	12.1	1250	1660	44500	2500	1.12	9.34
	16.0	134	171	22.2	24700	12.0	1390	1850	49300	2770	1.12	8.34
406.4	6.3	62.2	79.2	64.5	15800	14.1	780	1010	31700	1560	1.28	20.5
	8.0	78.6	100	50.8	19900	14.1	978	1270	39700	1960	1.28	16.2
	10.0	97.8	125	40.6	24500	14.0	1210	1570	49000	2410	1.28	13.1
	12.5	121	155	32.5	30000	13.9	1480	1940	60100	2960	1.28	10.5
	14.2	137	175	28.6	33700	13.9	1660	2190	67400	3320	1.28	9.30
	16.0	154	196	25.4	37400	13.8	1840	2440	74900	3690	1.28	8.29
457.0	8.0	88.6	113	57.1	28400	15.9	1250	1610	56900	2490	1.44	16.2
	10.0	110	140	45.7	35100	15.8	1540	2000	70200	3070	1.44	13.0
	12.5	137	175	36.6	43100	15.7	1890	2470	86300	3780	1.44	10.5
	14.2	155	198	32.2	48500	15.7	2120	2790	96900	4240	1.44	9.26
	16.0	174	222	28.6	54000	15.6	2360	3110	108000	4720	1.44	8.25
508.0	10.0	123	156	50.8	48500	17.6	1910	2480	97000	3820	1.60	13.0
	12.5	153	195	40.6	59800	17.5	2350	3070	120000	4710	1.60	10.4
	14.2	173	220	35.8	67200	17.5	2650	3460	134000	5290	1.60	9.23
	16.0	194	247	31.8	74900	17.4	2950	3870	150000	5900	1.60	8.22

BS 5950-1: 2000

BS EN 10210-2: 2006

HOT-FINISHED SQUARE HOLLOW SECTIONS

Celsius® SHS



Dimensions and properties

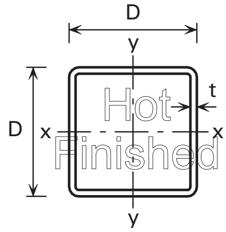
Section Designation		Mass per Metre	Area of Section	Ratio for Local Buckling	Second Moment of Area	Radius of Gyration	Elastic Modulus	Plastic Modulus	Torsional Constants		Surface Area	
Size D x D mm	Thickness t mm	kg/m	A cm²	d/t (1)	I cm⁴	r cm	Z cm³	S cm³	J cm⁴	C cm³	Per Metre m²	Per Tonne m²
40 x 40	3.0	3.41	4.34	10.3	9.78	1.50	4.89	5.97	15.7	7.10	0.152	44.7
	3.2	3.61	4.60	9.50	10.2	1.49	5.11	6.28	16.5	7.42	0.152	42.0
	4.0	4.39	5.59	7.00	11.8	1.45	5.91	7.44	19.5	8.54	0.150	34.1
	5.0	5.28	6.73	5.00	13.4	1.41	6.68	8.66	22.5	9.60	0.147	27.8
50 x 50	3.0	4.35	5.54	13.7	20.2	1.91	8.08	9.70	32.1	11.8	0.192	44.2
	3.2	4.62	5.88	12.6	21.2	1.90	8.49	10.2	33.8	12.4	0.192	41.5
	4.0	5.64	7.19	9.50	25.0	1.86	9.99	12.3	40.4	14.5	0.190	33.6
	5.0	6.85	8.73	7.00	28.9	1.82	11.6	14.5	47.6	16.7	0.187	27.3
	6.3	8.31	10.6	4.94	32.8	1.76	13.1	17.0	55.2	18.8	0.184	22.1
60 x 60	3.0	5.29	6.74	17.0	36.2	2.32	12.1	14.3	56.9	17.7	0.232	43.9
	3.2	5.62	7.16	15.8	38.2	2.31	12.7	15.2	60.2	18.6	0.232	41.2
	4.0	6.90	8.79	12.0	45.4	2.27	15.1	18.3	72.5	22.0	0.230	33.3
	5.0	8.42	10.7	9.00	53.3	2.23	17.8	21.9	86.4	25.7	0.227	27.0
	6.3	10.3	13.1	6.52	61.6	2.17	20.5	26.0	102	29.6	0.224	21.7
	8.0	12.5	16.0	4.50	69.7	2.09	23.2	30.4	118	33.4	0.219	17.5
70 x 70	3.6	7.40	9.42	16.4	68.6	2.70	19.6	23.3	108	28.7	0.271	36.6
	5.0	9.99	12.7	11.0	88.5	2.64	25.3	30.8	142	36.8	0.267	26.7
	6.3	12.3	15.6	8.11	104	2.58	29.7	36.9	169	42.9	0.264	21.5
	8.0	15.0	19.2	5.75	120	2.50	34.2	43.8	200	49.2	0.259	17.3
80 x 80	3.6	8.53	10.9	19.2	105	3.11	26.2	31.0	164	38.5	0.311	36.4
	4.0	9.41	12.0	17.0	114	3.09	28.6	34.0	180	41.9	0.310	32.9
	5.0	11.6	14.7	13.0	137	3.05	34.2	41.1	217	49.8	0.307	26.6
	6.3	14.2	18.1	9.70	162	2.99	40.5	49.7	262	58.7	0.304	21.3
	8.0	17.5	22.4	7.00	189	2.91	47.3	59.5	312	68.3	0.299	17.1
90 x 90	3.6	9.66	12.3	22.0	152	3.52	33.8	39.7	237	49.7	0.351	36.3
	4.0	10.7	13.6	19.5	166	3.50	37.0	43.6	260	54.2	0.350	32.8
	5.0	13.1	16.7	15.0	200	3.45	44.4	53.0	316	64.8	0.347	26.4
	6.3	16.2	20.7	11.3	238	3.40	53.0	64.3	382	77.0	0.344	21.2
	8.0	20.1	25.6	8.25	281	3.32	62.6	77.6	459	90.5	0.339	16.9

(1) For local buckling calculation d = D - 3t.

BS 5950-1: 2000
BS EN 10210-2: 2006

HOT-FINISHED
SQUARE HOLLOW SECTIONS

Celsius® SHS



Dimensions and properties

Section Designation: Size D x D mm	Section Designation: Thickness t mm	Mass per Metre kg/m	Area of Section A cm^2	Ratio for Local Buckling d/t [(1)]	Second Moment of Area I cm^4	Radius of Gyration r cm	Elastic Modulus Z cm^3	Plastic Modulus S cm^3	Torsional Constants J cm^4	Torsional Constants C cm^3	Surface Area Per Metre m^2	Surface Area Per Tonne m^2
100 x 100	4.0	11.9	15.2	22.0	232	3.91	46.4	54.4	361	68.2	0.390	32.7
	5.0	14.7	18.7	17.0	279	3.86	55.9	66.4	439	81.8	0.387	26.3
	6.3	18.2	23.2	12.9	336	3.80	67.1	80.9	534	97.8	0.384	21.1
	8.0	22.6	28.8	9.50	400	3.73	79.9	98.2	646	116	0.379	16.8
	10.0	27.4	34.9	7.00	462	3.64	92.4	116	761	133	0.374	13.6
120 x 120	5.0	17.8	22.7	21.0	498	4.68	83.0	97.6	777	122	0.467	26.2
	6.3	22.2	28.2	16.0	603	4.62	100	120	950	147	0.464	20.9
	8.0	27.6	35.2	12.0	726	4.55	121	146	1160	176	0.459	16.6
	10.0	33.7	42.9	9.00	852	4.46	142	175	1380	206	0.454	13.5
	12.5	40.9	52.1	6.60	982	4.34	164	207	1620	236	0.448	11.0
140 x 140	5.0	21.0	26.7	25.0	807	5.50	115	135	1250	170	0.547	26.1
	6.3	26.1	33.3	19.2	984	5.44	141	166	1540	206	0.544	20.8
	8.0	32.6	41.6	14.5	1200	5.36	171	204	1890	249	0.539	16.5
	10.0	40.0	50.9	11.0	1420	5.27	202	246	2270	294	0.534	13.4
	12.5	48.7	62.1	8.20	1650	5.16	236	293	2700	342	0.528	10.8
150 x 150	5.0	22.6	28.7	27.0	1000	5.90	134	156	1550	197	0.587	26.0
	6.3	28.1	35.8	20.8	1220	5.85	163	192	1910	240	0.584	20.8
	8.0	35.1	44.8	15.8	1490	5.77	199	237	2350	291	0.579	16.5
	10.0	43.1	54.9	12.0	1770	5.68	236	286	2830	344	0.574	13.3
	12.5	52.7	67.1	9.00	2080	5.57	277	342	3380	402	0.568	10.8
160 x 160	5.0	24.1	30.7	29.0	1230	6.31	153	178	1890	226	0.627	26.0
	6.3	30.1	38.3	22.4	1500	6.26	187	220	2330	275	0.624	20.7
	8.0	37.6	48.0	17.0	1830	6.18	229	272	2880	335	0.619	16.5
	10.0	46.3	58.9	13.0	2190	6.09	273	329	3480	398	0.614	13.3
	12.5	56.6	72.1	9.80	2580	5.98	322	395	4160	467	0.608	10.7
	14.2	63.3	80.7	8.27	2810	5.90	351	436	4580	508	0.603	9.53
180 x 180	6.3	34.0	43.3	25.6	2170	7.07	241	281	3360	355	0.704	20.7
	8.0	42.7	54.4	19.5	2660	7.00	296	349	4160	434	0.699	16.4
	10.0	52.5	66.9	15.0	3190	6.91	355	424	5050	518	0.694	13.2
	12.5	64.4	82.1	11.4	3790	6.80	421	511	6070	613	0.688	10.7
	14.2	72.2	92.0	9.68	4150	6.72	462	566	6710	670	0.683	9.46
	16.0	80.2	102	8.25	4500	6.64	500	621	7340	724	0.679	8.46
200 x 200	5.0	30.4	38.7	37.0	2450	7.95	245	283	3760	362	0.787	25.9
	6.3	38.0	48.4	28.7	3010	7.89	301	350	4650	444	0.784	20.6
	8.0	47.7	60.8	22.0	3710	7.81	371	436	5780	545	0.779	16.3
	10.0	58.8	74.9	17.0	4470	7.72	447	531	7030	655	0.774	13.2
	12.5	72.3	92.1	13.0	5340	7.61	534	643	8490	778	0.768	10.6
	14.2	81.1	103	11.1	5870	7.54	587	714	9420	854	0.763	9.41
	16.0	90.3	115	9.50	6390	7.46	639	785	10300	927	0.759	8.40

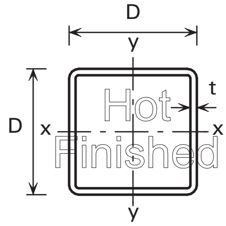
(1) For local buckling calculation d = D - 3t.

BS 5950-1: 2000

BS EN 10210-2: 2006

HOT-FINISHED
SQUARE HOLLOW SECTIONS

Celsius® SHS



Dimensions and properties

Section Designation		Mass per Metre	Area of Section	Ratio for Local Buckling	Second Moment of Area	Radius of Gyration	Elastic Modulus	Plastic Modulus	Torsional Constants		Surface Area	
Size	Thickness										Per Metre	Per Tonne
D x D	t		A	d/t (1)	I	r	Z	S	J	C		
mm	mm	kg/m	cm^2		cm^4	cm	cm^3	cm^3	cm^4	cm^3	m^2	m^2
250 x 250	6.3	47.9	61.0	36.7	6010	9.93	481	556	9240	712	0.984	20.5
	8.0	60.3	76.8	28.3	7460	9.86	596	694	11500	880	0.979	16.3
	10.0	74.5	94.9	22.0	9060	9.77	724	851	14100	1070	0.974	13.1
	12.5	91.9	117	17.0	10900	9.66	873	1040	17200	1280	0.968	10.5
	14.2	103	132	14.6	12100	9.58	967	1160	19100	1410	0.963	9.31
	16.0	115	147	12.6	13300	9.50	1060	1280	21100	1550	0.959	8.31
260 x 260	6.3	49.9	63.5	38.3	6790	10.3	522	603	10400	773	1.02	20.5
	8.0	62.8	80.0	29.5	8420	10.3	648	753	13000	956	1.02	16.2
	10.0	77.7	98.9	23.0	10200	10.2	788	924	15900	1160	1.01	13.1
	12.5	95.8	122	17.8	12400	10.1	951	1130	19400	1390	1.01	10.5
	14.2	108	137	15.3	13700	9.99	1060	1260	21700	1540	1.00	9.30
	16.0	120	153	13.3	15100	9.91	1160	1390	23900	1690	0.999	8.29
300 x 300	6.3	57.8	73.6	44.6	10500	12.0	703	809	16100	1040	1.18	20.5
	8.0	72.8	92.8	34.5	13100	11.9	875	1010	20200	1290	1.18	16.2
	10.0	90.2	115	27.0	16000	11.8	1070	1250	24800	1580	1.17	13.0
	12.5	112	142	21.0	19400	11.7	1300	1530	30300	1900	1.17	10.5
	14.2	126	160	18.1	21600	11.6	1440	1710	33900	2110	1.16	9.25
	16.0	141	179	15.8	23900	11.5	1590	1900	37600	2330	1.16	8.25
350 x 350	8.0	85.4	109	40.8	21100	13.9	1210	1390	32400	1790	1.38	16.2
	10.0	106	135	32.0	25900	13.9	1480	1720	39900	2190	1.37	13.0
	12.5	131	167	25.0	31500	13.7	1800	2110	48900	2650	1.37	10.4
	14.2	148	189	21.6	35200	13.7	2010	2360	54900	2960	1.36	9.21
	16.0	166	211	18.9	38900	13.6	2230	2630	61000	3260	1.36	8.20
400 x 400	10.0	122	155	37.0	39100	15.9	1960	2260	60100	2900	1.57	12.9
	12.5	151	192	29.0	47800	15.8	2390	2780	73900	3530	1.57	10.4
	14.2	170	217	25.2	53500	15.7	2680	3130	83000	3940	1.56	9.18
	16.0	191	243	22.0	59300	15.6	2970	3480	92400	4360	1.56	8.17
	20.0 ^	235	300	17.0	71500	15.4	3580	4250	112000	5240	1.55	6.58

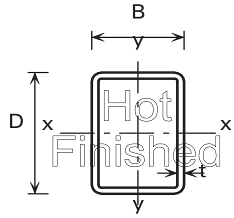
(1) For local buckling calculation d = D - 3t.

^ SAW process (single longitudinal seam weld, slightly proud)

BS 5950-1: 2000
BS EN 10210-2: 2006

HOT-FINISHED RECTANGULAR HOLLOW SECTIONS

Celsius® RHS



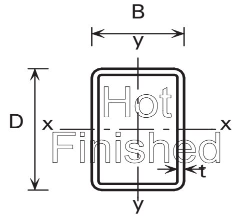
Dimensions and properties

Section Designation		Mass per	Area of	Ratios for Local Buckling		Second Moment of Area		Radius of Gyration		Elastic Modulus		Plastic Modulus		Torsional Constants		Surface Area	
Size	Thickness	Metre	Section			Axis	Axis	Axis	Axis	Axis	Axis	Axis	Axis			Per	Per
						x-x	y-y	x-x	y-y	x-x	y-y	x-x	y-y			Metre	Tonne
D x B	t		A	d/t (1)	b/t (1)									J	C		
mm	mm	kg/m	cm^2			cm^4	cm^4	cm	cm	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3	cm^4	cm^3	m^2	m^2
50x30	3.2	3.61	4.60	12.6	6.38	14.2	6.20	1.76	1.16	5.68	4.13	7.25	5.00	14.2	6.80	0.152	42.1
60x40	3.0	4.35	5.54	17.0	10.3	26.5	13.9	2.18	1.58	8.82	6.95	10.9	8.19	29.2	11.2	0.192	44.1
	4.0	5.64	7.19	12.0	7.00	32.8	17.0	2.14	1.54	10.9	8.52	13.8	10.3	36.7	13.7	0.190	33.7
	5.0	6.85	8.73	9.00	5.00	38.1	19.5	2.09	1.50	12.7	9.77	16.4	12.2	43.0	15.7	0.187	27.3
80x40	3.2	5.62	7.16	22.0	9.50	57.2	18.9	2.83	1.63	14.3	9.46	18.0	11.0	46.2	16.1	0.232	41.3
	4.0	6.90	8.79	17.0	7.00	68.2	22.2	2.79	1.59	17.1	11.1	21.8	13.2	55.2	18.9	0.230	33.3
	5.0	8.42	10.7	13.0	5.00	80.3	25.7	2.74	1.55	20.1	12.9	26.1	15.7	65.1	21.9	0.227	27.0
	6.3	10.3	13.1	9.70	3.35	93.3	29.2	2.67	1.49	23.3	14.6	31.1	18.4	75.6	24.8	0.224	21.7
	8.0	12.5	16.0	7.00	2.00	106	32.1	2.58	1.42	26.5	16.1	36.5	21.2	85.8	27.4	0.219	17.5
90x50	3.6	7.40	9.42	22.0	10.9	98.3	38.7	3.23	2.03	21.8	15.5	27.2	18.0	89.4	25.9	0.271	36.6
	5.0	9.99	12.7	15.0	7.00	127	49.2	3.16	1.97	28.3	19.7	36.0	23.5	116	32.9	0.267	26.7
	6.3	12.3	15.6	11.3	4.94	150	57.0	3.10	1.91	33.3	22.8	43.2	28.0	138	38.1	0.264	21.5
100x50	3.0	6.71	8.54	30.3	13.7	110	36.8	3.58	2.08	21.9	14.7	27.3	16.8	88.4	25.0	0.292	43.5
	3.2	7.13	9.08	28.3	12.6	116	38.8	3.57	2.07	23.2	15.5	28.9	17.7	93.4	26.4	0.292	41.0
	4.0	8.78	11.2	22.0	9.50	140	46.2	3.53	2.03	27.9	18.5	35.2	21.5	113	31.4	0.290	33.0
	5.0	10.8	13.7	17.0	7.00	167	54.3	3.48	1.99	33.3	21.7	42.6	25.8	135	36.9	0.287	26.6
	6.3	13.3	16.9	12.9	4.94	197	63.0	3.42	1.93	39.4	25.2	51.3	30.8	160	42.9	0.284	21.4
	8.0	16.3	20.8	9.50	3.25	230	71.7	3.33	1.86	46.0	28.7	61.4	36.3	186	48.9	0.279	17.1
100x60	3.6	8.53	10.9	24.8	13.7	145	64.8	3.65	2.44	28.9	21.6	35.6	24.9	142	35.6	0.311	36.5
	5.0	11.6	14.7	17.0	9.00	189	83.6	3.58	2.38	37.8	27.9	47.4	32.9	188	45.9	0.307	26.5
	6.3	14.2	18.1	12.9	6.52	225	98.1	3.52	2.33	45.0	32.7	57.3	39.5	224	53.8	0.304	21.4
	8.0	17.5	22.4	9.50	4.50	264	113	3.44	2.25	52.8	37.8	68.7	47.1	265	62.2	0.299	17.1
120x60	3.6	9.66	12.3	30.3	13.7	227	76.3	4.30	2.49	37.9	25.4	47.2	28.9	183	43.3	0.351	36.3
	5.0	13.1	16.7	21.0	9.00	299	98.8	4.23	2.43	49.9	32.9	63.1	38.4	242	56.0	0.347	26.5
	6.3	16.2	20.7	16.0	6.52	358	116	4.16	2.37	59.7	38.8	76.7	46.3	290	65.9	0.344	21.2
	8.0	20.1	25.6	12.0	4.50	425	135	4.08	2.30	70.8	45.0	92.7	55.4	344	76.6	0.339	16.9
120x80	5.0	14.7	18.7	21.0	13.0	365	193	4.42	3.21	60.9	48.2	74.6	56.1	401	77.9	0.387	26.3
	6.3	18.2	23.2	16.0	9.70	440	230	4.36	3.15	73.3	57.6	91.0	68.2	487	92.9	0.384	21.1
	8.0	22.6	28.8	12.0	7.00	525	273	4.27	3.08	87.5	68.1	111	82.6	587	110	0.379	16.8
	10.0	27.4	34.9	9.00	5.00	609	313	4.18	2.99	102	78.1	131	97.3	688	126	0.374	13.6
150x100	5.0	18.6	23.7	27.0	17.0	739	392	5.58	4.07	98.5	78.5	119	90.1	807	127	0.487	26.2
	6.3	23.1	29.5	20.8	12.9	898	474	5.52	4.01	120	94.8	147	110	986	153	0.484	21.0
	8.0	28.9	36.8	15.8	9.50	1090	569	5.44	3.94	145	114	180	135	1200	183	0.479	16.6
	10.0	35.3	44.9	12.0	7.00	1280	665	5.34	3.85	171	133	216	161	1430	214	0.474	13.4
	12.5	42.8	54.6	9.00	5.00	1490	763	5.22	3.74	198	153	256	190	1680	246	0.468	10.9
150x125	4.0	16.6	21.2	34.5	28.3	714	539	5.80	5.04	95.2	86.3	112	98.9	949	133	0.540	32.5
	5.0	20.6	26.2	27.0	22.0	870	656	5.76	5.00	116	105	138	121	1160	162	0.537	26.1
	6.3	25.6	32.6	20.8	16.8	1060	798	5.70	4.94	141	128	169	149	1430	196	0.534	20.9
	8.0	32.0	40.8	15.8	12.6	1290	966	5.62	4.87	172	155	208	183	1750	237	0.529	16.5
	10.0	39.2	49.9	12.0	9.50	1530	1140	5.53	4.78	204	183	251	221	2100	279	0.524	13.4
	12.5	47.7	60.8	9.00	7.00	1780	1330	5.42	4.67	238	212	299	262	2490	324	0.518	10.9

(1) For local buckling calculation d = D - 3t and b = B - 3t.

HOT-FINISHED RECTANGULAR HOLLOW SECTIONS

Celsius® RHS



Dimensions and properties

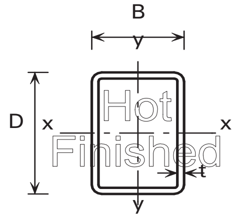
Section Designation		Mass per	Area of	Ratios for Local Buckling		Second Moment of Area		Radius of Gyration		Elastic Modulus		Plastic Modulus		Torsional Constants		Surface Area	
Size D x B	Thickness t	Metre	Section A	$d/t^{(1)}$	$b/t^{(1)}$	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	J	C	Per Metre	Per Tonne
mm	mm	kg/m	cm^2			cm^4	cm^4	cm	cm	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3	cm^4	cm^3	m^2	m^2
160x80	4.0	14.4	18.4	37.0	17.0	612	207	5.77	3.35	76.5	51.7	94.7	58.3	493	88.1	0.470	32.6
	5.0	17.8	22.7	29.0	13.0	744	249	5.72	3.31	93.0	62.3	116	71.1	600	106	0.467	26.2
	6.3	22.2	28.2	22.4	9.70	903	299	5.66	3.26	113	74.8	142	86.8	730	127	0.464	20.9
	8.0	27.6	35.2	17.0	7.00	1090	356	5.57	3.18	136	89.0	175	106	883	151	0.459	16.6
	10.0	33.7	42.9	13.0	5.00	1280	411	5.47	3.10	161	103	209	125	1040	175	0.454	13.5
200x100	5.0	22.6	28.7	37.0	17.0	1500	505	7.21	4.19	149	101	185	114	1200	172	0.587	26.0
	6.3	28.1	35.8	28.7	12.9	1830	613	7.15	4.14	183	123	228	140	1480	208	0.584	20.8
	8.0	35.1	44.8	22.0	9.50	2230	739	7.06	4.06	223	148	282	172	1800	251	0.579	16.5
	10.0	43.1	54.9	17.0	7.00	2660	869	6.96	3.98	266	174	341	206	2160	295	0.574	13.3
	12.5	52.7	67.1	13.0	5.00	3140	1000	6.84	3.87	314	201	408	245	2540	341	0.568	10.8
200x120	5.0	24.1	30.7	37.0	21.0	1690	762	7.40	4.98	168	127	205	144	1650	210	0.627	26.0
	6.3	30.1	38.3	28.7	16.0	2070	929	7.34	4.92	207	155	253	177	2030	255	0.624	20.7
	8.0	37.6	48.0	22.0	12.0	2530	1130	7.26	4.85	253	188	313	218	2500	310	0.619	16.5
	10.0	46.3	58.9	17.0	9.00	3030	1340	7.17	4.76	303	223	379	263	3000	367	0.614	13.3
	14.2	63.3	80.7	11.1	5.45	3910	1690	6.96	4.58	391	282	503	346	3920	464	0.603	9.53
200x150	8.0	41.4	52.8	22.0	15.8	2970	1890	7.50	5.99	297	253	359	294	3640	398	0.679	16.4
	10.0	51.0	64.9	17.0	12.0	3570	2260	7.41	5.91	357	302	436	356	4410	475	0.674	13.2
250x120	10.0	54.1	68.9	22.0	9.00	5310	1640	8.78	4.88	425	273	539	318	4090	468	0.714	13.2
	12.5	66.4	84.6	17.0	6.60	6330	1930	8.65	4.77	506	321	651	381	4880	549	0.708	10.7
	14.2	74.5	94.9	14.6	5.45	6960	2090	8.56	4.70	556	349	722	421	5360	597	0.703	9.44
250x150	5.0	30.4	38.7	47.0	27.0	3360	1530	9.31	6.28	269	204	324	228	3280	337	0.787	25.9
	6.3	38.0	48.4	36.7	20.8	4140	1870	9.25	6.22	331	250	402	283	4050	413	0.784	20.6
	8.0	47.7	60.8	28.3	15.8	5110	2300	9.17	6.15	409	306	501	350	5020	506	0.779	16.3
	10.0	58.8	74.9	22.0	12.0	6170	2760	9.08	6.06	494	367	611	426	6090	605	0.774	13.2
	12.5	72.3	92.1	17.0	9.00	7390	3270	8.96	5.96	591	435	740	514	7330	717	0.768	10.6
	14.2	81.1	103	14.6	7.56	8140	3580	8.87	5.88	651	477	823	570	8100	784	0.763	9.41
	16.0	90.3	115	12.6	6.38	8880	3870	8.79	5.80	710	516	906	625	8870	849	0.759	8.41
250x200	10.0	66.7	84.9	22.0	17.0	7610	5370	9.47	7.95	609	537	731	626	9890	835	0.874	13.1
	12.5	82.1	105	17.0	13.0	9150	6440	9.35	7.85	732	644	888	760	12000	997	0.868	10.6
	14.2	92.3	118	14.6	11.1	10100	7100	9.28	7.77	809	710	990	846	13300	1100	0.863	9.35
260x140	5.0	30.4	38.7	49.0	25.0	3530	1350	9.55	5.91	272	193	331	216	3080	326	0.787	25.9
	6.3	38.0	48.4	38.3	19.2	4360	1660	9.49	5.86	335	237	411	267	3800	399	0.784	20.6
	8.0	47.7	60.8	29.5	14.5	5370	2030	9.40	5.78	413	290	511	331	4700	488	0.779	16.3
	10.0	58.8	74.9	23.0	11.0	6490	2430	9.31	5.70	499	347	624	402	5700	584	0.774	13.2
	12.5	72.3	92.1	17.8	8.20	7770	2880	9.18	5.59	597	411	756	485	6840	690	0.768	10.6
	14.2	81.1	103	15.3	6.86	8560	3140	9.10	5.52	658	449	840	537	7560	754	0.763	9.41
	16.0	90.3	115	13.3	5.75	9340	3400	9.01	5.44	718	486	925	588	8260	815	0.759	8.41
300x100	8.0	47.7	60.8	34.5	9.50	6310	1080	10.2	4.21	420	216	546	245	3070	387	0.779	16.3
	10.0	58.8	74.9	27.0	7.00	7610	1280	10.1	4.13	508	255	666	296	3680	458	0.774	13.2
	14.2	81.1	103	18.1	4.04	10000	1610	9.85	3.94	669	321	896	390	4760	578	0.763	9.41

(1) For local buckling calculation d = D - 3t and b = B - 3t.

BS 5950-1: 2000
BS EN 10210-2: 2006

HOT-FINISHED RECTANGULAR HOLLOW SECTIONS

Celsius® RHS



Dimensions and properties

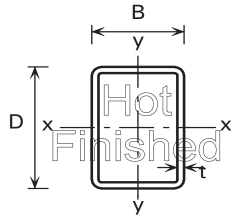
Section Designation		Mass per Metre	Area of Section	Ratios for Local Buckling		Second Moment of Area		Radius of Gyration		Elastic Modulus		Plastic Modulus		Torsional Constants		Surface Area	
Size D x B	Thickness t		A	d/t (1)	b/t (1)	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	J	C	Per Metre	Per Tonne
mm	mm	kg/m	cm^2			cm^4	cm^4	cm	cm	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3	cm^4	cm^3	m^2	m^2
300x150	8.0	54.0	68.8	34.5	15.8	8010	2700	10.8	6.27	534	360	663	407	6450	613	0.879	16.3
	10.0	66.7	84.9	27.0	12.0	9720	3250	10.7	6.18	648	433	811	496	7840	736	0.874	13.1
	12.5	82.1	105	21.0	9.00	11700	3860	10.6	6.07	779	514	986	600	9450	874	0.868	10.6
	14.2	92.3	118	18.1	7.56	12900	4230	10.5	6.00	862	564	1100	666	10500	959	0.863	9.35
	16.0	103	131	15.8	6.38	14200	4600	10.4	5.92	944	613	1210	732	11500	1040	0.859	8.34
300x200	6.3	47.9	61.0	44.6	28.7	7830	4190	11.3	8.29	522	419	624	472	8480	681	0.984	20.5
	8.0	60.3	76.8	34.5	22.0	9720	5180	11.3	8.22	648	518	779	589	10600	840	0.979	16.2
	10.0	74.5	94.9	27.0	17.0	11800	6280	11.2	8.13	788	628	956	721	12900	1020	0.974	13.1
	12.5	91.9	117	21.0	13.0	14300	7540	11.0	8.02	952	754	1170	877	15700	1220	0.968	10.5
	14.2	103	132	18.1	11.1	15800	8330	11.0	7.95	1060	833	1300	978	17500	1340	0.963	9.35
	16.0	115	147	15.8	9.50	17400	9110	10.9	7.87	1160	911	1440	1080	19300	1470	0.959	8.34
300x250	5.0	42.2	53.7	57.0	47.0	7410	5610	11.7	10.2	494	449	575	508	9770	697	1.09	25.8
	6.3	52.8	67.3	44.6	36.7	9190	6950	11.7	10.2	613	556	716	633	12200	862	1.08	20.5
	8.0	66.5	84.8	34.5	28.3	11400	8630	11.6	10.1	761	690	896	791	15200	1070	1.08	16.2
	10.0	82.4	105	27.0	22.0	13900	10500	11.5	10.0	928	840	1100	971	18600	1300	1.07	13.0
	12.5	102	130	21.0	17.0	16900	12700	11.4	9.89	1120	1010	1350	1190	22700	1560	1.07	10.5
	14.2	115	146	18.1	14.6	18700	14100	11.3	9.82	1250	1130	1510	1330	25400	1730	1.06	9.22
	16.0	128	163	15.8	12.6	20600	15500	11.2	9.74	1380	1240	1670	1470	28100	1900	1.06	8.28
350x150	5.0	38.3	48.7	67.0	27.0	7660	2050	12.5	6.49	437	274	543	301	5160	477	0.987	25.8
	6.3	47.9	61.0	52.6	20.8	9480	2530	12.5	6.43	542	337	676	373	6390	586	0.984	20.5
	8.0	60.3	76.8	40.8	15.8	11800	3110	12.4	6.36	673	414	844	464	7930	721	0.979	16.2
	10.0	74.5	94.9	32.0	12.0	14300	3740	12.3	6.27	818	498	1040	566	9630	867	0.974	13.1
	12.5	91.9	117	25.0	9.00	17300	4450	12.2	6.17	988	593	1260	686	11600	1030	0.968	10.5
	14.2	103	132	21.6	7.56	19200	4890	12.1	6.09	1100	652	1410	763	12900	1130	0.963	9.35
	16.0	115	147	18.9	6.38	21100	5320	12.0	6.01	1210	709	1560	840	14100	1230	0.959	8.34
350x250	5.0	46.1	58.7	67.0	47.0	10600	6360	13.5	10.4	607	509	716	569	12200	817	1.19	25.8
	6.3	57.8	73.6	52.6	36.7	13200	7890	13.4	10.4	754	631	892	709	15200	1010	1.18	20.4
	8.0	72.8	92.8	40.8	28.3	16400	9800	13.3	10.3	940	784	1120	888	19000	1250	1.18	16.2
	10.0	90.2	115	32.0	22.0	20100	11900	13.2	10.2	1150	955	1380	1090	23400	1530	1.17	13.0
	12.5	112	142	25.0	17.0	24400	14400	13.1	10.1	1400	1160	1690	1330	28500	1840	1.17	10.4
	14.2	126	160	21.6	14.6	27200	16000	13.0	10.0	1550	1280	1890	1490	31900	2040	1.16	9.21
	16.0	141	179	18.9	12.6	30000	17700	12.9	9.93	1720	1410	2100	1660	35300	2250	1.16	8.23
400x120	5.0	39.8	50.7	77.0	21.0	9520	1420	13.7	5.30	476	237	612	259	4090	430	1.03	25.9
	6.3	49.9	63.5	60.5	16.0	11800	1740	13.6	5.24	590	291	762	320	5040	527	1.02	20.4
	8.0	62.8	80.0	47.0	12.0	14600	2130	13.5	5.17	732	356	952	397	6220	645	1.02	16.2
	10.0	77.7	98.9	37.0	9.00	17800	2550	13.4	5.08	891	425	1170	483	7510	771	1.01	13.0
	12.5	95.8	122	29.0	6.60	21600	3010	13.3	4.97	1080	502	1430	583	8980	911	1.01	10.5
	14.2	108	137	25.2	5.45	23900	3290	13.2	4.89	1200	549	1590	646	9890	996	1.00	9.26
	16.0	120	153	22.0	4.50	26300	3560	13.1	4.82	1320	593	1760	709	10800	1080	0.999	8.33

(1) For local buckling calculation d = D - 3t and b = B - 3t.

BS 5950-1: 2000
BS EN 10210-2: 2006

HOT-FINISHED RECTANGULAR HOLLOW SECTIONS

Celsius® RHS



Dimensions and properties

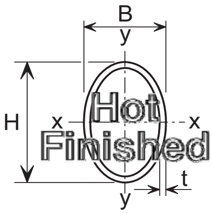
Section Designation		Mass per	Area of	Ratios for Local Buckling		Second Moment of Area		Radius of Gyration		Elastic Modulus		Plastic Modulus		Torsional Constants		Surface Area	
Size	Thickness	Metre	Section			Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y			Per Metre	Per Tonne
D x B	t		A	d/t (1)	b/t (1)									J	C		
mm	mm	kg/m	cm^2			cm^4	cm^4	cm	cm	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3	cm^4	cm^3	m^2	m^2
400x150	5.0	42.2	53.7	77.0	27.0	10700	2320	14.1	6.57	534	309	671	337	6130	547	1.09	25.8
	6.3	52.8	67.3	60.5	20.8	13300	2850	14.0	6.51	663	380	836	418	7600	673	1.08	20.5
	8.0	66.5	84.8	47.0	15.8	16500	3510	13.9	6.43	824	468	1050	521	9420	828	1.08	16.2
	10.0	82.4	105	37.0	12.0	20100	4230	13.8	6.35	1010	564	1290	636	11500	998	1.07	13.0
	12.5	102	130	29.0	9.00	24400	5040	13.7	6.24	1220	672	1570	772	13800	1190	1.07	10.5
	14.2	115	146	25.2	7.56	27100	5550	13.6	6.16	1360	740	1760	859	15300	1310	1.06	9.22
	16.0	128	163	22.0	6.38	29800	6040	13.5	6.09	1490	805	1950	947	16800	1430	1.06	8.28
400x200	8.0	72.8	92.8	47.0	22.0	19600	6660	14.5	8.47	978	666	1200	743	15700	1140	1.18	16.2
	10.0	90.2	115	37.0	17.0	23900	8080	14.4	8.39	1200	808	1480	911	19300	1380	1.17	13.0
	12.5	112	142	29.0	13.0	29100	9740	14.3	8.28	1450	974	1810	1110	23400	1660	1.17	10.4
	14.2	126	160	25.2	11.1	32400	10800	14.2	8.21	1620	1080	2030	1240	26100	1830	1.16	9.21
	16.0	141	179	22.0	9.50	35700	11800	14.1	8.13	1790	1180	2260	1370	28900	2010	1.16	8.23
400x300	8.0	85.4	109	47.0	34.5	25700	16500	15.4	12.3	1290	1100	1520	1250	31000	1750	1.38	16.2
	10.0	106	135	37.0	27.0	31500	20200	15.3	12.2	1580	1350	1870	1540	38200	2140	1.37	12.9
	12.5	131	167	29.0	21.0	38500	24600	15.2	12.1	1920	1640	2300	1880	46800	2590	1.37	10.5
	14.2	148	189	25.2	18.1	43000	27400	15.1	12.1	2150	1830	2580	2110	52500	2890	1.36	9.19
	16.0	166	211	22.0	15.8	47500	30300	15.0	12.0	2380	2020	2870	2350	58300	3180	1.36	8.19
450x250	8.0	85.4	109	53.3	28.3	30100	12100	16.6	10.6	1340	971	1620	1080	27100	1630	1.38	16.2
	10.0	106	135	42.0	22.0	36900	14800	16.5	10.5	1640	1190	2000	1330	33300	1990	1.37	12.9
	12.5	131	167	33.0	17.0	45000	18000	16.4	10.4	2000	1440	2460	1630	40700	2410	1.37	10.5
	14.2	148	189	28.7	14.6	50300	20000	16.3	10.3	2240	1600	2760	1830	45600	2680	1.36	9.19
	16.0	166	211	25.1	12.6	55700	22000	16.2	10.2	2480	1760	3070	2030	50500	2950	1.36	8.19
500x200	8.0	85.4	109	59.5	22.0	34000	8140	17.7	8.65	1360	814	1710	896	21100	1430	1.38	16.2
	10.0	106	135	47.0	17.0	41800	9890	17.6	8.56	1670	989	2110	1100	25900	1740	1.37	12.9
	12.5	131	167	37.0	13.0	51000	11900	17.5	8.45	2040	1190	2590	1350	31500	2100	1.37	10.5
	14.2	148	189	32.2	11.1	56900	13200	17.4	8.38	2280	1320	2900	1510	35200	2320	1.36	9.19
	16.0	166	211	28.3	9.50	63000	14500	17.3	8.30	2520	1450	3230	1670	38900	2550	1.36	8.19
500x300	8.0	97.9	125	59.5	34.5	43700	20000	18.7	12.6	1750	1330	2100	1480	42600	2200	1.58	16.1
	10.0	122	155	47.0	27.0	53800	24400	18.6	12.6	2150	1630	2600	1830	52500	2700	1.57	12.9
	12.5	151	192	37.0	21.0	65800	29800	18.5	12.5	2630	1990	3200	2240	64400	3280	1.57	10.4
	14.2	170	217	32.2	18.1	73700	33200	18.4	12.4	2950	2220	3590	2520	72200	3660	1.56	9.18
	16.0	191	243	28.3	15.8	81800	36800	18.3	12.3	3270	2450	4010	2800	80300	4040	1.56	8.17
	20.0 ^	235	300	22.0	12.0	98800	44100	18.2	12.1	3950	2940	4890	3410	97400	4840	1.55	6.58

(1) For local buckling calculation d = D - 3t and b = B - 3t.

^ SAW process (single longitudinal seam weld, slightly proud)

HOT-FINISHED
ELLIPTICAL HOLLOW SECTIONS

Celsius® OHS

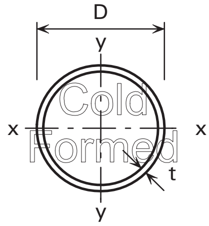


Dimensions and properties

Section Designation		Mass per Metre	Area of Section	Second Moment of Area		Radius of Gyration		Elastic Modulus		Plastic Modulus		Torsional Constants		Surface Area	
Size	Thickness			Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y			Per Metre	Per Tonne
H x B	t		A									J	C		
mm	mm	kg/m	cm^2	cm^4	cm^4	cm	cm	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3	cm^4	cm^3	m^2	m^2
150 x 75	4.0	10.7	13.6	301	101	4.70	2.72	40.1	26.9	56.1	34.4	303	60.1	0.363	33.9
150 x 75	5.0	13.3	16.9	367	122	4.66	2.69	48.9	32.5	68.9	42.0	367	72.2	0.363	27.4
150 x 75	6.3	16.5	21.0	448	147	4.62	2.64	59.7	39.1	84.9	51.5	443	86.3	0.363	22.0
200 x 100	5.0	17.9	22.8	897	302	6.27	3.64	89.7	60.4	125	76.8	905	135	0.484	27.1
200 x 100	6.3	22.3	28.4	1100	368	6.23	3.60	110	73.5	155	94.7	1110	163	0.484	21.7
200 x 100	8.0	28.0	35.7	1360	446	6.17	3.54	136	89.3	193	117	1350	197	0.484	17.3
200 x 100	10.0	34.5	44.0	1640	529	6.10	3.47	164	106	235	141	1610	232	0.484	14.0
250 x 125	6.3	28.2	35.9	2210	742	7.84	4.55	176	119	246	151	2220	265	0.605	21.5
250 x 125	8.0	35.4	45.1	2730	909	7.78	4.49	219	145	307	188	2730	323	0.605	17.1
250 x 125	10.0	43.8	55.8	3320	1090	7.71	4.42	265	174	376	228	3290	385	0.605	13.8
250 x 125	12.5	53.9	68.7	4000	1290	7.63	4.34	320	207	458	276	3920	453	0.605	11.2
300 x 150	8.0	42.8	54.5	4810	1620	9.39	5.44	321	215	449	275	4850	481	0.726	17.0
300 x 150	10.0	53.0	67.5	5870	1950	9.32	5.37	391	260	551	336	5870	577	0.726	13.7
300 x 150	12.5	65.5	83.4	7120	2330	9.24	5.29	475	311	674	409	7050	686	0.726	11.1
300 x 150	16.0	82.5	105	8730	2810	9.12	5.17	582	374	837	503	8530	818	0.726	8.81
400 x 200	8.0	57.6	73.4	11700	3970	12.6	7.35	584	397	811	500	11900	890	0.969	16.8
400 x 200	10.0	71.5	91.1	14300	4830	12.5	7.28	717	483	1000	615	14500	1080	0.969	13.5
400 x 200	12.5	88.6	113	17500	5840	12.5	7.19	877	584	1230	753	17600	1300	0.969	10.9
400 x 200	16.0	112	143	21700	7140	12.3	7.07	1090	714	1540	936	21600	1580	0.969	8.64
500 x 250	10.0	90	115	28539	9682	15.8	9.2	1142	775	1585	976	28950	1739	1.21	13.5
500 x 250	12.5	112	142	35000	11800	15.7	9.10	1400	943	1960	1200	35300	2110	1.21	10.8
500 x 250	16.0	142	180	43700	14500	15.6	8.98	1750	1160	2460	1500	43700	2590	1.21	8.55

COLD-FORMED CIRCULAR HOLLOW SECTIONS

Hybox® CHS

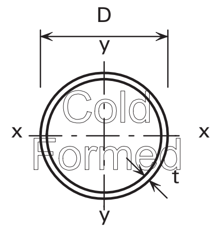


Dimensions and properties

Section Designation: Outside Diameter D mm	Section Designation: Thickness t mm	Mass per Metre kg/m	Area of Section A cm^2	Ratio for Local Buckling D/t	Second Moment of Area I cm^4	Radius of Gyration r cm	Elastic Modulus Z cm^3	Plastic Modulus S cm^3	Torsional Constants J cm^4	Torsional Constants C cm^3	Surface Area Per Metre m^2	Surface Area Per Tonne m^2
33.7	3.0	2.27	2.89	11.2	3.44	1.09	2.04	2.84	6.88	4.08	0.106	46.6
42.4	4.0	3.79	4.83	10.6	8.99	1.36	4.24	5.92	18.0	8.48	0.133	35.2
48.3	3.0	3.35	4.27	16.1	11.0	1.61	4.55	6.17	22.0	9.11	0.152	45.3
48.3	3.5	3.87	4.93	13.8	12.4	1.59	5.15	7.04	24.9	10.3	0.152	39.2
48.3	4.0	4.37	5.57	12.1	13.8	1.57	5.70	7.87	27.5	11.4	0.152	34.7
60.3	3.0	4.24	5.40	20.1	22.2	2.03	7.37	9.86	44.4	14.7	0.189	44.7
60.3	4.0	5.55	7.07	15.1	28.2	2.00	9.34	12.7	56.3	18.7	0.189	34.1
76.1	3.0	5.41	6.89	25.4	46.1	2.59	12.1	16.0	92.2	24.2	0.239	44.2
76.1	4.0	7.11	9.06	19.0	59.1	2.55	15.5	20.8	118	31.0	0.239	33.6
88.9	3.0	6.36	8.10	29.6	74.8	3.04	16.8	22.1	150	33.6	0.279	43.9
88.9	3.5	7.37	9.39	25.4	85.7	3.02	19.3	25.5	171	38.6	0.279	37.9
88.9	4.0	8.38	10.7	22.2	96.3	3.00	21.7	28.9	193	43.3	0.279	33.3
88.9	5.0	10.3	13.2	17.8	116	2.97	26.2	35.2	233	52.4	0.279	27.0
88.9	6.3	12.8	16.3	14.1	140	2.93	31.5	43.1	280	63.1	0.279	21.8
114.3	3.0	8.23	10.5	38.1	163	3.94	28.4	37.2	325	56.9	0.359	43.6
114.3	3.5	9.56	12.2	32.7	187	3.92	32.7	43.0	374	65.5	0.359	37.5
114.3	4.0	10.9	13.9	28.6	211	3.90	36.9	48.7	422	73.9	0.359	33.0
114.3	5.0	13.5	17.2	22.9	257	3.87	45.0	59.8	514	89.9	0.359	26.6
114.3	6.0	16.0	20.4	19.1	300	3.83	52.5	70.4	600	105	0.359	22.4
139.7	4.0	13.4	17.1	34.9	393	4.80	56.2	73.7	786	112	0.439	32.8
139.7	5.0	16.6	21.2	27.9	481	4.77	68.8	90.8	961	138	0.439	26.4
139.7	6.0	19.8	25.2	23.3	564	4.73	80.8	107	1130	162	0.439	22.2
139.7	8.0	26.0	33.1	17.5	720	4.66	103	139	1440	206	0.439	16.9
139.7	10.0	32.0	40.7	14.0	862	4.60	123	169	1720	247	0.439	13.7
168.3	4.0	16.2	20.6	42.1	697	5.81	82.8	108	1390	166	0.529	32.6
168.3	5.0	20.1	25.7	33.7	856	5.78	102	133	1710	203	0.529	26.3
168.3	6.0	24.0	30.6	28.1	1010	5.74	120	158	2020	240	0.529	22.0
168.3	8.0	31.6	40.3	21.0	1300	5.67	154	206	2600	308	0.529	16.7
168.3	10.0	39.0	49.7	16.8	1560	5.61	186	251	3130	372	0.529	13.5
168.3	12.5	48.0	61.2	13.5	1870	5.53	222	304	3740	444	0.529	11.0
193.7	4.0	18.7	23.8	48.4	1070	6.71	111	144	2150	222	0.609	32.5
193.7	4.5	21.0	26.7	43.0	1200	6.69	124	161	2400	247	0.609	29.0
193.7	5.0	23.3	29.6	38.7	1320	6.67	136	178	2640	273	0.609	26.2
193.7	6.0	27.8	35.4	32.3	1560	6.64	161	211	3120	322	0.609	21.9
193.7	8.0	36.6	46.7	24.2	2020	6.57	208	276	4030	416	0.609	16.6
193.7	10.0	45.3	57.7	19.4	2440	6.50	252	338	4880	504	0.609	13.4
193.7	12.5	55.9	71.2	15.5	2930	6.42	303	411	5870	606	0.609	10.9
219.1	4.5	23.8	30.3	48.7	1750	7.59	159	207	3490	319	0.688	28.9
219.1	5.0	26.4	33.6	43.8	1930	7.57	176	229	3860	352	0.688	26.1
219.1	6.0	31.5	40.2	36.5	2280	7.54	208	273	4560	417	0.688	21.8
219.1	8.0	41.6	53.1	27.4	2960	7.47	270	357	5920	540	0.688	16.5
219.1	10.0	51.6	65.7	21.9	3600	7.40	328	438	7200	657	0.688	13.3
219.1	12.0	61.3	78.1	18.3	4200	7.33	383	515	8400	767	0.688	11.2
219.1	12.5	63.7	81.1	17.5	4350	7.32	397	534	8690	793	0.688	10.8
219.1	16.0	80.1	102	13.7	5300	7.20	483	661	10600	967	0.688	8.59

COLD-FORMED
CIRCULAR HOLLOW SECTIONS

Hybox® CHS



Dimensions and properties

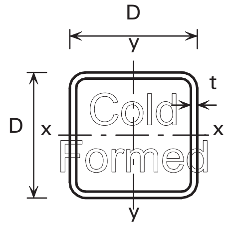
Section Designation		Mass per Metre	Area of Section	Ratio for Local Buckling	Second Moment of Area	Radius of Gyration	Elastic Modulus	Plastic Modulus	Torsional Constants		Surface Area	
Outside Diameter D mm	Thickness t mm	kg/m	A cm^2	D/t	I cm^4	r cm	Z cm^3	S cm^3	J cm^4	C cm^3	Per Metre m^2	Per Tonne m^2
244.5	5.0	29.5	37.6	48.9	2700	8.47	221	287	5400	441	0.768	26.0
244.5	6.0	35.3	45.0	40.8	3200	8.43	262	341	6400	523	0.768	21.8
244.5	8.0	46.7	59.4	30.6	4160	8.37	340	448	8320	681	0.768	16.5
244.5	10.0	57.8	73.7	24.5	5070	8.30	415	550	10100	830	0.768	13.3
244.5	12.0	68.8	87.7	20.4	5940	8.23	486	649	11900	972	0.768	11.2
244.5	12.5	71.5	91.1	19.6	6150	8.21	503	673	12300	1010	0.768	10.7
244.5	16.0	90.2	115	15.3	7530	8.10	616	837	15100	1230	0.768	8.52
273.0	5.0	33.0	42.1	54.6	3780	9.48	277	359	7560	554	0.858	26.0
273.0	6.0	39.5	50.3	45.5	4490	9.44	329	428	8970	657	0.858	21.7
273.0	8.0	52.3	66.6	34.1	5850	9.37	429	562	11700	857	0.858	16.4
273.0	10.0	64.9	82.6	27.3	7150	9.31	524	692	14300	1050	0.858	13.2
273.0	12.0	77.2	98.4	22.8	8400	9.24	615	818	16800	1230	0.858	11.1
273.0	12.5	80.3	102	21.8	8700	9.22	637	849	17400	1270	0.858	10.7
273.0	16.0	101	129	17.1	10700	9.10	784	1060	21400	1570	0.858	8.46
323.9	5.0	39.3	50.1	64.8	6370	11.3	393	509	12700	787	1.02	25.9
323.9	6.0	47.0	59.9	54.0	7570	11.2	468	606	15100	935	1.02	21.6
323.9	8.0	62.3	79.4	40.5	9910	11.2	612	799	19800	1220	1.02	16.3
323.9	10.0	77.4	98.6	32.4	12200	11.1	751	986	24300	1500	1.02	13.1
323.9	12.0	92.3	118	27.0	14300	11.0	884	1170	28600	1770	1.02	11.0
323.9	12.5	96.0	122	25.9	14800	11.0	917	1210	29700	1830	1.02	10.6
323.9	16.0	121	155	20.2	18400	10.9	1140	1520	36800	2270	1.02	8.38
355.6	5.0	43.2	55.1	71.1	8460	12.4	476	615	16900	952	1.12	25.8
355.6	6.0	51.7	65.9	59.3	10100	12.4	566	733	20100	1130	1.12	21.6
355.6	8.0	68.6	87.4	44.5	13200	12.3	742	967	26400	1490	1.12	16.3
355.6	10.0	85.2	109	35.6	16200	12.2	912	1200	32400	1830	1.12	13.1
355.6	12.0	102	130	29.6	19100	12.2	1080	1420	38300	2150	1.12	11.0
355.6	12.5	106	135	28.4	19900	12.1	1120	1470	39700	2230	1.12	10.6
355.6	16.0	134	171	22.2	24700	12.0	1390	1850	49300	2770	1.12	8.34
406.4	6.0	59.2	75.5	67.7	15100	14.2	745	962	30300	1490	1.28	21.5
406.4	8.0	78.6	100	50.8	19900	14.1	978	1270	39700	1960	1.28	16.2
406.4	10.0	97.8	125	40.6	24500	14.0	1210	1570	49000	2410	1.28	13.1
406.4	12.0	117	149	33.9	28900	14.0	1420	1870	57900	2850	1.28	10.9
406.4	12.5	121	155	32.5	30000	13.9	1480	1940	60100	2960	1.28	10.5
406.4	16.0	154	196	25.4	37400	13.8	1840	2440	74900	3690	1.28	8.29
457.0	6.0	66.7	85.0	76.2	21600	15.9	946	1220	43200	1890	1.44	21.5
457.0	8.0	88.6	113	57.1	28400	15.9	1250	1610	56900	2490	1.44	16.2
457.0	10.0	110	140	45.7	35100	15.8	1540	2000	70200	3070	1.44	13.0
457.0	12.0	132	168	38.1	41600	15.7	1820	2380	83100	3640	1.44	10.9
457.0	12.5	137	175	36.6	43100	15.7	1890	2470	86300	3780	1.44	10.5
457.0	16.0	174	222	28.6	54000	15.6	2360	3110	108000	4720	1.44	8.25
508.0	6.0	74.3	94.6	84.7	29800	17.7	1170	1510	59600	2350	1.60	21.5
508.0	8.0	98.6	126	63.5	39300	17.7	1550	2000	78600	3090	1.60	16.2
508.0	10.0	123	156	50.8	48500	17.6	1910	2480	97000	3820	1.60	13.0
508.0	12.0	147	187	42.3	57500	17.5	2270	2950	115000	4530	1.60	10.9
508.0	12.5	153	195	40.6	59800	17.5	2350	3070	120000	4710	1.60	10.4
508.0	16.0	194	247	31.8	74900	17.4	2950	3870	150000	5900	1.60	8.22

BS 5950-1: 2000

BS EN 10219-2: 2006

COLD-FORMED SQUARE HOLLOW SECTIONS

Hybox® SHS



Dimensions and properties

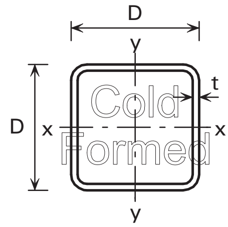
Section Designation		Mass per Metre	Area of Section	Ratio for Local Buckling	Second Moment of Area	Radius of Gyration	Elastic Modulus	Plastic Modulus	Torsional Constants		Surface Area	
Size	Thickness										Per Metre	Per Tonne
D x D	t		A	d/t (1)	I	r	Z	S	J	C		
mm	mm	kg/m	cm^2		cm^4	cm	cm^3	cm^3	cm^4	cm^3	m^2	m^2
25x25	2.0	1.36	1.74	7.50	1.48	0.924	1.19	1.47	2.53	1.80	0.093	68.3
	2.5	1.64	2.09	5.00	1.69	0.899	1.35	1.71	2.97	2.07	0.091	55.7
	3.0	1.89	2.41	3.33	1.84	0.874	1.47	1.91	3.33	2.27	0.090	47.4
30x30	2.5	2.03	2.59	7.00	3.16	1.10	2.10	2.61	5.40	3.20	0.111	54.8
	3.0	2.36	3.01	5.00	3.50	1.08	2.34	2.96	6.15	3.58	0.110	46.5
40x40	2.0	2.31	2.94	15.0	6.94	1.54	3.47	4.13	11.3	5.23	0.153	66.4
	2.5	2.82	3.59	11.0	8.22	1.51	4.11	4.97	13.6	6.21	0.151	53.7
	3.0	3.30	4.21	8.33	9.32	1.49	4.66	5.72	15.8	7.07	0.150	45.3
	4.0	4.20	5.35	5.00	11.1	1.44	5.54	7.01	19.4	8.48	0.146	34.8
50x50	2.5	3.60	4.59	15.0	16.9	1.92	6.78	8.07	27.5	10.2	0.191	53.1
	3.0	4.25	5.41	11.7	19.5	1.90	7.79	9.39	32.1	11.8	0.190	44.7
	4.0	5.45	6.95	7.50	23.7	1.85	9.49	11.7	40.4	14.4	0.186	34.2
	5.0	6.56	8.36	5.00	27.0	1.80	10.8	13.7	47.5	16.6	0.183	27.9
60x60	3.0	5.19	6.61	15.0	35.1	2.31	11.7	14.0	57.1	17.7	0.230	44.3
	4.0	6.71	8.55	10.0	43.6	2.26	14.5	17.6	72.6	22.0	0.226	33.7
	5.0	8.13	10.4	7.00	50.5	2.21	16.8	20.9	86.4	25.6	0.223	27.4
70x70	2.5	5.17	6.59	23.0	49.4	2.74	14.1	16.5	78.5	21.2	0.271	52.5
	3.0	6.13	7.81	18.3	57.5	2.71	16.4	19.4	92.4	24.7	0.270	44.0
	3.5	7.06	8.99	15.0	65.1	2.69	18.6	22.2	106	28.0	0.268	38.0
	4.0	7.97	10.1	12.5	72.1	2.67	20.6	24.8	119	31.1	0.266	33.4
	5.0	9.70	12.4	9.00	84.6	2.62	24.2	29.6	142	36.7	0.263	27.1
80x80	3.0	7.07	9.01	21.7	87.8	3.12	22.0	25.8	140	33.0	0.310	43.8
	3.5	8.16	10.4	17.9	99.8	3.10	25.0	29.5	161	37.6	0.308	37.7
	4.0	9.22	11.7	15.0	111	3.07	27.8	33.1	180	41.8	0.306	33.2
	5.0	11.3	14.4	11.0	131	3.03	32.9	39.7	218	49.7	0.303	26.9
	6.0	13.2	16.8	8.33	149	2.98	37.3	45.8	252	56.6	0.299	22.7
90x90	3.0	8.01	10.2	25.0	127	3.53	28.3	33.0	201	42.5	0.350	43.6
	3.5	9.26	11.8	20.7	145	3.51	32.2	37.9	232	48.5	0.348	37.6
	4.0	10.5	13.3	17.5	162	3.48	36.0	42.6	261	54.2	0.346	33.0
	5.0	12.8	16.4	13.0	193	3.43	42.9	51.4	316	64.7	0.343	26.7
	6.0	15.1	19.2	10.0	220	3.39	49.0	59.5	368	74.2	0.339	22.5
100x100	3.0	8.96	11.4	28.3	177	3.94	35.4	41.2	279	53.2	0.390	43.5
	4.0	11.7	14.9	20.0	226	3.89	45.3	53.3	362	68.1	0.386	32.9
	5.0	14.4	18.4	15.0	271	3.84	54.2	64.6	441	81.7	0.383	26.6
	6.0	17.0	21.6	11.7	311	3.79	62.3	75.1	514	94.1	0.379	22.3
	8.0	21.4	27.2	7.50	366	3.67	73.2	91.1	645	114	0.366	17.1
120x120	4.0	14.2	18.1	25.0	402	4.71	67.0	78.3	637	101	0.466	32.7
	5.0	17.5	22.4	19.0	485	4.66	80.9	95.4	778	122	0.463	26.4
	6.0	20.7	26.4	15.0	562	4.61	93.7	112	913	141	0.459	22.1
	8.0	26.4	33.6	10.0	677	4.49	113	138	1160	175	0.446	16.9
	10.0	31.8	40.6	7.00	777	4.38	129	162	1380	203	0.437	13.7

(1) For local buckling calculation d = D - 5t.

BS 5950-1: 2000
BS EN 10219-2: 2006

COLD-FORMED
SQUARE HOLLOW SECTIONS

Hybox® SHS



Dimensions and properties

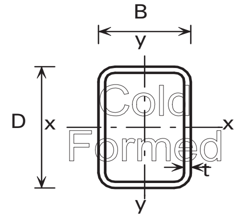
Section Designation		Mass per Metre	Area of Section	Ratio for Local Buckling	Second Moment of Area	Radius of Gyration	Elastic Modulus	Plastic Modulus	Torsional Constants		Surface Area	
Size D x D mm	Thickness t mm	kg/m	A cm^2	d/t (1)	I cm^4	r cm	Z cm^3	S cm^3	J cm^4	C cm^3	Per Metre m^2	Per Tonne m^2
140x140	4.0	16.8	21.3	30.0	652	5.52	93.1	108	1020	140	0.546	32.6
	5.0	20.7	26.4	23.0	791	5.48	113	132	1260	170	0.543	26.2
	6.0	24.5	31.2	18.3	920	5.43	131	155	1480	198	0.539	22.0
	8.0	31.4	40.0	12.5	1130	5.30	161	194	1900	248	0.526	16.7
	10.0	38.1	48.6	9.00	1310	5.20	187	230	2270	291	0.517	13.6
150x150	4.0	18.0	22.9	32.5	808	5.93	108	125	1270	162	0.586	32.5
	5.0	22.3	28.4	25.0	982	5.89	131	153	1550	197	0.583	26.2
	6.0	26.4	33.6	20.0	1150	5.84	153	180	1830	230	0.579	21.9
	8.0	33.9	43.2	13.8	1410	5.71	188	226	2360	289	0.566	16.7
	10.0	41.3	52.6	10.0	1650	5.61	220	269	2840	341	0.557	13.5
160x160	4.0	19.3	24.5	35.0	987	6.34	123	143	1540	185	0.626	32.5
	5.0	23.8	30.4	27.0	1200	6.29	150	175	1900	226	0.623	26.1
	6.0	28.3	36.0	21.7	1410	6.25	176	206	2240	264	0.619	21.9
	8.0	36.5	46.4	15.0	1740	6.12	218	260	2900	334	0.606	16.6
	10.0	44.4	56.6	11.0	2050	6.02	256	311	3490	395	0.597	13.4
180x180	5.0	27.0	34.4	31.0	1740	7.11	193	224	2720	290	0.703	26.1
	6.0	32.1	40.8	25.0	2040	7.06	226	264	3220	340	0.699	21.8
	8.0	41.5	52.8	17.5	2550	6.94	283	336	4190	432	0.686	16.5
	10.0	50.7	64.6	13.0	3020	6.84	335	404	5070	515	0.677	13.4
	12.0	58.5	74.5	10.0	3320	6.68	369	454	5870	584	0.658	11.3
	12.5	60.5	77.0	9.40	3410	6.65	378	467	6050	600	0.656	10.8
200x200	5.0	30.1	38.4	35.0	2410	7.93	241	279	3760	362	0.783	26.0
	6.0	35.8	45.6	28.3	2830	7.88	283	330	4460	426	0.779	21.8
	8.0	46.5	59.2	20.0	3570	7.76	357	421	5820	544	0.766	16.5
	10.0	57.0	72.6	15.0	4250	7.65	425	508	7070	651	0.757	13.3
	12.0	66.0	84.1	11.7	4730	7.50	473	576	8230	743	0.738	11.2
	12.5	68.3	87.0	11.0	4860	7.47	486	594	8500	765	0.736	10.8
250x250	6.0	45.2	57.6	36.7	5670	9.92	454	524	8840	681	0.979	21.6
	8.0	59.1	75.2	26.3	7230	9.80	578	676	11600	878	0.966	16.3
	10.0	72.7	92.6	20.0	8710	9.70	697	822	14200	1060	0.957	13.2
	12.0	84.8	108	15.8	9860	9.55	789	944	16700	1230	0.938	11.1
	12.5	88.0	112	15.0	10200	9.52	813	975	17300	1270	0.936	10.6
300x300	6.0	54.7	69.6	45.0	9960	12.0	664	764	15400	997	1.18	21.6
	8.0	71.6	91.2	32.5	12800	11.8	853	991	20300	1290	1.17	16.3
	10.0	88.4	113	25.0	15500	11.7	1040	1210	25000	1570	1.16	13.1
	12.0	104	132	20.0	17800	11.6	1180	1400	29500	1830	1.14	11.0
	12.5	108	137	19.0	18300	11.6	1220	1450	30600	1890	1.14	10.6
350x350	8.0	84.2	107	38.8	20700	13.9	1180	1370	32600	1790	1.37	16.2
	10.0	104	133	30.0	25200	13.8	1440	1680	40100	2180	1.36	13.0
	12.0	123	156	24.2	29100	13.6	1660	1950	47600	2550	1.34	10.9
	12.5	127	162	23.0	30000	13.6	1720	2020	49400	2640	1.34	10.5
400x400	8.0	96.7	123	45.0	31300	15.9	1560	1800	48900	2360	1.57	16.2
	10.0	120	153	35.0	38200	15.8	1910	2210	60400	2890	1.56	13.0
	12.0	141	180	28.3	44300	15.7	2220	2590	71800	3400	1.54	10.9
	12.5	147	187	27.0	45900	15.7	2290	2680	74600	3520	1.54	10.5

(1) For local buckling calculation d = D - 5t.

BS 5950-1: 2000
BS EN 10219-2: 2006

COLD-FORMED RECTANGULAR HOLLOW SECTIONS

Hybox® RHS



Dimensions and properties

Section Designation		Mass per	Area of	Ratios for Local Buckling		Second Moment of Area		Radius of Gyration		Elastic Modulus		Plastic Modulus		Torsional Constants		Surface Area	
Size D x B mm	Thickness t mm	Metre kg/m	Section A cm^2	d/t (1)	b/t (1)	Axis x-x cm^4	Axis y-y cm^4	Axis x-x cm	Axis y-y cm	Axis x-x cm^3	Axis y-y cm^3	Axis x-x cm^3	Axis y-y cm^3	J cm^4	C cm^3	Per Metre m^2	Per Tonne m^2
50 x 25	2.0	2.15	2.74	20.0	7.50	8.38	2.81	1.75	1.01	3.35	2.25	4.26	2.62	7.06	3.92	0.143	66.6
50 x 25	3.0	3.07	3.91	11.7	3.33	11.2	3.67	1.69	0.969	4.47	2.93	5.86	3.56	9.64	5.18	0.140	45.5
50 x 30	2.5	2.82	3.59	15.0	7.00	11.3	5.05	1.77	1.19	4.52	3.37	5.70	3.98	11.7	5.72	0.151	53.7
	3.0	3.30	4.21	11.7	5.00	12.8	5.70	1.75	1.16	5.13	3.80	6.57	4.58	13.5	6.49	0.150	45.3
	4.0	4.20	5.35	7.50	2.50	15.3	6.69	1.69	1.12	6.10	4.46	8.05	5.58	16.5	7.71	0.146	34.8
60 x 30	3.0	3.77	4.81	15.0	5.00	20.5	6.80	2.06	1.19	6.83	4.53	8.82	5.39	17.5	7.95	0.170	45.0
	4.0	4.83	6.15	10.0	2.50	24.7	8.06	2.00	1.14	8.23	5.37	10.9	6.62	21.5	9.52	0.166	34.5
60 x 40	3.0	4.25	5.41	15.0	8.33	25.4	13.4	2.17	1.58	8.46	6.72	10.5	7.94	29.3	11.2	0.190	44.7
	4.0	5.45	6.95	10.0	5.00	31.0	16.3	2.11	1.53	10.3	8.14	13.2	9.89	36.7	13.7	0.186	34.2
	5.0	6.56	8.36	7.00	3.00	35.3	18.4	2.06	1.48	11.8	9.21	15.4	11.5	42.8	15.6	0.183	27.9
70 x 40	3.0	4.72	6.01	18.3	8.33	37.3	15.5	2.49	1.61	10.7	7.75	13.4	9.05	36.5	13.2	0.210	44.5
	4.0	6.08	7.75	12.5	5.00	46.0	18.9	2.44	1.56	13.1	9.44	16.8	11.3	45.8	16.2	0.206	33.9
70 x 50	3.0	5.19	6.61	18.3	11.7	44.1	26.1	2.58	1.99	12.6	10.4	15.4	12.2	53.6	17.1	0.230	44.3
	4.0	6.71	8.55	12.5	7.50	54.7	32.2	2.53	1.94	15.6	12.9	19.5	15.4	68.1	21.2	0.226	33.7
80 x 40	3.0	5.19	6.61	21.7	8.33	52.3	17.6	2.81	1.63	13.1	8.78	16.5	10.2	43.9	15.3	0.230	44.3
	4.0	6.71	8.55	15.0	5.00	64.8	21.5	2.75	1.59	16.2	10.7	20.9	12.8	55.2	18.8	0.226	33.7
	5.0	8.13	10.4	11.0	3.00	75.1	24.6	2.69	1.54	18.8	12.3	24.7	15.0	65.0	21.7	0.223	27.4
80 x 50	3.0	5.66	7.21	21.7	11.7	61.1	29.4	2.91	2.02	15.3	11.8	18.8	13.6	65.0	19.7	0.250	44.1
	4.0	7.34	9.35	15.0	7.50	76.4	36.5	2.86	1.98	19.1	14.6	24.0	17.2	82.7	24.6	0.246	33.6
	5.0	8.91	11.4	11.0	5.00	89.2	42.3	2.80	1.93	22.3	16.9	28.5	20.5	98.4	28.7	0.243	27.2
80 x 60	3.0	6.13	7.81	21.7	15.0	70.0	44.9	3.00	2.40	17.5	15.0	21.2	17.4	88.3	24.1	0.270	44.0
	4.0	7.97	10.1	15.0	10.0	87.9	56.1	2.94	2.35	22.0	18.7	27.0	22.1	113	30.3	0.266	33.4
	5.0	9.70	12.4	11.0	7.00	103	65.7	2.89	2.31	25.8	21.9	32.2	26.4	136	35.7	0.263	27.1
90 x 50	3.0	6.13	7.81	25.0	11.7	81.9	32.7	3.24	2.05	18.2	13.1	22.6	15.0	76.7	22.4	0.270	44.0
	4.0	7.97	10.1	17.5	7.50	103	40.7	3.18	2.00	22.8	16.3	28.8	19.1	97.7	28.0	0.266	33.4
	5.0	9.70	12.4	13.0	5.00	121	47.4	3.12	1.96	26.8	18.9	34.4	22.7	116	32.7	0.263	27.1
100 x 40	3.0	6.13	7.81	28.3	8.33	92.3	21.7	3.44	1.67	18.5	10.8	23.7	12.4	59.0	19.4	0.270	44.0
	4.0	7.97	10.1	20.0	5.00	116	26.7	3.38	1.62	23.1	13.3	30.3	15.7	74.5	24.0	0.266	33.4
	5.0	9.70	12.4	15.0	3.00	136	30.8	3.31	1.58	27.1	15.4	36.1	18.5	87.9	27.9	0.263	27.1
100 x 50	3.0	6.60	8.41	28.3	11.7	106	36.1	3.56	2.07	21.3	14.4	26.7	16.4	88.6	25.0	0.290	43.9
	4.0	8.59	10.9	20.0	7.50	134	44.9	3.50	2.03	26.8	18.0	34.1	20.9	113	31.3	0.286	33.3
	5.0	10.5	13.4	15.0	5.00	158	52.5	3.44	1.98	31.6	21.0	40.8	25.0	135	36.8	0.283	27.0
	6.0	12.3	15.6	11.7	3.33	179	58.7	3.38	1.94	35.8	23.5	46.9	28.5	154	41.4	0.279	22.8
100 x 60	3.0	7.07	9.01	28.3	15.0	121	54.6	3.66	2.46	24.1	18.2	29.6	20.8	122	30.6	0.310	43.8
	3.5	8.16	10.4	23.6	12.1	137	61.9	3.63	2.44	27.4	20.6	33.8	23.8	139	34.8	0.308	37.7
	4.0	9.22	11.7	20.0	10.0	153	68.7	3.60	2.42	30.5	22.9	37.9	26.6	156	38.7	0.306	33.2
	5.0	11.3	14.4	15.0	7.00	181	80.8	3.55	2.37	36.2	26.9	45.6	31.9	188	45.8	0.303	26.9
	6.0	13.2	16.8	11.7	5.00	205	91.2	3.49	2.33	41.1	30.4	52.5	36.6	216	51.9	0.299	22.7
100 x 80	3.0	8.01	10.2	28.3	21.7	149	106	3.82	3.22	29.8	26.4	35.4	30.4	196	41.9	0.350	43.6
	4.0	10.5	13.3	20.0	15.0	189	134	3.77	3.17	37.9	33.5	45.6	39.2	254	53.4	0.346	33.0
	5.0	12.8	16.4	15.0	11.0	226	160	3.72	3.12	45.2	39.9	55.1	47.2	308	63.7	0.343	26.7

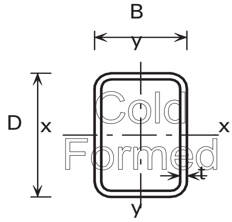
+ These sections are in addition to the range of BS EN 10219-2 sections

(1) For local buckling calculation d = D - 5t and b = B - 5t.

BS 5950-1: 2000
BS EN 10219-2: 2006

COLD-FORMED RECTANGULAR HOLLOW SECTIONS

Hybox® RHS



Dimensions and properties

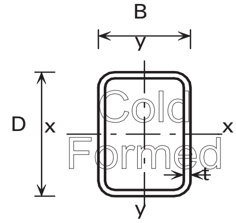
Section Designation		Mass per	Area of	Ratios for Local Buckling		Second Moment of Area		Radius of Gyration		Elastic Modulus		Plastic Modulus		Torsional Constants		Surface Area	
Size D x B mm	Thickness t mm	Metre kg/m	Section A cm²	d/t (1)	b/t (1)	Axis x-x cm⁴	Axis y-y cm⁴	Axis x-x cm	Axis y-y cm	Axis x-x cm³	Axis y-y cm³	Axis x-x cm³	Axis y-y cm³	J cm⁴	C cm³	Per Metre m²	Per Tonne m²
120 x 40	3.0	7.07	9.01	35.0	8.33	148	25.8	4.05	1.69	24.7	12.9	32.2	14.6	74.6	23.5	0.310	43.8
	4.0	9.22	11.7	25.0	5.00	187	31.9	3.99	1.65	31.1	15.9	41.2	18.5	94.2	29.2	0.306	33.2
	5.0	11.3	14.4	19.0	3.00	221	36.9	3.92	1.60	36.8	18.5	49.4	22.0	111	34.1	0.303	26.9
120 x 60	3.0	8.01	10.2	35.0	15.0	189	64.4	4.30	2.51	31.5	21.5	39.2	24.2	156	37.1	0.350	43.6
	3.5	9.26	11.8	29.3	12.1	216	73.1	4.28	2.49	35.9	24.4	44.9	27.7	179	42.2	0.348	37.6
	4.0	10.5	13.3	25.0	10.0	241	81.2	4.25	2.47	40.1	27.1	50.5	31.1	201	47.0	0.346	33.0
	5.0	12.8	16.4	19.0	7.00	287	96.0	4.19	2.42	47.8	32.0	60.9	37.4	242	55.8	0.343	26.7
	6.0	15.1	19.2	15.0	5.00	328	109	4.13	2.38	54.7	36.3	70.6	43.1	280	63.6	0.339	22.5
120 x 80	4.0	11.7	14.9	25.0	15.0	295	157	4.44	3.24	49.1	39.3	59.8	45.2	331	64.9	0.386	32.9
	5.0	14.4	18.4	19.0	11.0	353	188	4.39	3.20	58.9	46.9	72.4	54.7	402	77.8	0.383	26.6
	6.0	17.0	21.6	15.0	8.33	406	215	4.33	3.15	67.7	53.8	84.3	63.5	469	89.4	0.379	22.3
	8.0	21.4	27.2	10.0	5.00	476	252	4.18	3.04	79.3	62.9	102	76.9	584	108	0.366	17.1
140 x 80	3.0	9.90	12.6	41.7	21.7	334	141	5.15	3.35	47.8	35.3	58.2	39.6	317	59.7	0.430	43.4
	4.0	13.0	16.5	30.0	15.0	430	180	5.10	3.30	61.4	45.1	75.5	51.3	412	76.5	0.426	32.8
	5.0	16.0	20.4	23.0	11.0	517	216	5.04	3.26	73.9	54.0	91.8	62.2	501	91.8	0.423	26.5
	6.0	18.9	24.0	18.3	8.33	597	248	4.98	3.21	85.3	62.0	107	72.4	584	106	0.419	22.2
	8.0	23.9	30.4	12.5	5.00	708	293	4.82	3.10	101	73.3	131	88.4	731	129	0.406	17.0
	10.0	28.7	36.6	9.00	3.00	804	330	4.69	3.01	115	82.6	152	103	851	147	0.397	13.8
150 x 100	3.0	11.3	14.4	45.0	28.3	461	248	5.65	4.15	61.4	49.5	73.5	55.8	507	81.4	0.490	43.3
	4.0	14.9	18.9	32.5	20.0	595	319	5.60	4.10	79.3	63.7	95.7	72.5	662	105	0.486	32.7
	5.0	18.3	23.4	25.0	15.0	719	384	5.55	4.05	95.9	76.8	117	88.3	809	127	0.483	26.3
	6.0	21.7	27.6	20.0	11.7	835	444	5.50	4.01	111	88.8	137	103	948	147	0.479	22.1
	8.0	27.7	35.2	13.8	7.50	1010	536	5.35	3.90	134	107	169	128	1210	182	0.466	16.8
	10.0	33.4	42.6	10.0	5.00	1160	614	5.22	3.80	155	123	199	150	1430	211	0.457	13.7
160 x 80	4.0	14.2	18.1	35.0	15.0	598	204	5.74	3.35	74.7	50.9	92.9	57.4	494	88.0	0.466	32.7
	5.0	17.5	22.4	27.0	11.0	722	244	5.68	3.30	90.2	61.0	113	69.7	601	106	0.463	26.4
	6.0	20.7	26.4	21.7	8.33	836	281	5.62	3.26	105	70.2	132	81.3	702	122	0.459	22.1
	8.0	26.4	33.6	15.0	5.00	1000	335	5.46	3.16	125	83.7	163	100	882	150	0.446	16.9
180 x 80	4.0	15.5	19.7	40.0	15.0	802	227	6.37	3.39	89.1	56.7	112	63.5	578	99.6	0.506	32.7
	5.0	19.1	24.4	31.0	11.0	971	272	6.31	3.34	108	68.1	137	77.2	704	120	0.503	26.3
	6.0	22.6	28.8	25.0	8.33	1130	314	6.25	3.30	125	78.5	160	90.2	823	139	0.499	22.1
	8.0	28.9	36.8	17.5	5.00	1360	377	6.08	3.20	151	94.1	198	111	1040	170	0.486	16.8
	10.0	35.0	44.6	13.0	3.00	1570	429	5.94	3.10	174	107	234	131	1210	196	0.477	13.6
180 x 100	4.0	16.8	21.3	40.0	20.0	926	374	6.59	4.18	103	74.8	126	84.0	854	127	0.546	32.6
	5.0	20.7	26.4	31.0	15.0	1120	452	6.53	4.14	125	90.4	154	103	1050	154	0.543	26.2
	6.0	24.5	31.2	25.0	11.7	1310	524	6.48	4.10	146	105	181	120	1230	179	0.539	22.0
	8.0	31.4	40.0	17.5	7.50	1600	637	6.32	3.99	178	127	226	150	1570	222	0.526	16.7
	10.0	38.1	48.6	13.0	5.00	1860	736	6.19	3.89	207	147	268	177	1860	260	0.517	13.6

(1) For local buckling calculation d = D - 5t and b = B - 5t.

BS 5950-1: 2000
BS EN 10219-2: 2006

COLD-FORMED RECTANGULAR HOLLOW SECTIONS

Hybox® RHS

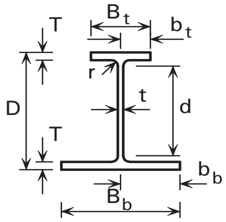


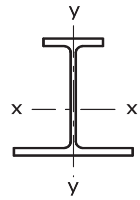
Dimensions and properties

Section Designation Size D x B mm	Section Designation Thickness t mm	Mass per Metre kg/m	Area of Section A cm^2	Ratios for Local Buckling d/t (1)	Ratios for Local Buckling b/t (1)	Second Moment of Area Axis x-x cm^4	Second Moment of Area Axis y-y cm^4	Radius of Gyration Axis x-x cm	Radius of Gyration Axis y-y cm	Elastic Modulus Axis x-x cm^3	Elastic Modulus Axis y-y cm^3	Plastic Modulus Axis x-x cm^3	Plastic Modulus Axis y-y cm^3	Torsional Constants J cm^4	Torsional Constants C cm^3	Surface Area Per Metre m^2	Surface Area Per Tonne m^2
200 x 100	4.0	18.0	22.9	45.0	20.0	1200	411	7.23	4.23	120	82.2	148	91.7	985	142	0.586	32.5
	5.0	22.3	28.4	35.0	15.0	1460	497	7.17	4.19	146	99.4	181	112	1210	172	0.583	26.2
	6.0	26.4	33.6	28.3	11.7	1700	577	7.12	4.14	170	115	213	132	1420	200	0.579	21.9
	8.0	33.9	43.2	20.0	7.50	2090	705	6.95	4.04	209	141	267	165	1810	250	0.566	16.7
	10.0	41.3	52.6	15.0	5.00	2440	818	6.82	3.94	244	164	318	195	2150	292	0.557	13.5
200 x 120	4.0	19.3	24.5	45.0	25.0	1350	618	7.43	5.02	135	103	164	115	1350	172	0.626	32.5
	5.0	23.8	30.4	35.0	19.0	1650	750	7.37	4.97	165	125	201	141	1650	210	0.623	26.1
	6.0	28.3	36.0	28.3	15.0	1930	874	7.32	4.93	193	146	237	166	1950	245	0.619	21.9
	8.0	36.5	46.4	20.0	10.0	2390	1080	7.17	4.82	239	180	298	209	2510	308	0.606	16.6
	10.0	44.4	56.6	15.0	7.00	2810	1260	7.04	4.72	281	210	356	250	3010	364	0.597	13.4
200 x 150	4.0	21.2	26.9	45.0	32.5	1580	1020	7.67	6.16	158	136	187	154	1940	219	0.686	32.4
	5.0	26.2	33.4	35.0	25.0	1940	1250	7.62	6.11	193	166	230	189	2390	267	0.683	26.1
	6.0	31.1	39.6	28.3	20.0	2270	1460	7.56	6.06	227	194	271	223	2830	313	0.679	21.8
	8.0	40.2	51.2	20.0	13.8	2830	1820	7.43	5.95	283	242	344	283	3670	396	0.666	16.5
	10.0	49.1	62.6	15.0	10.0	3350	2140	7.31	5.85	335	286	413	339	4430	471	0.657	13.4
250 x 150	5.0	30.1	38.4	45.0	25.0	3300	1510	9.28	6.27	264	201	320	225	3290	337	0.783	26.0
	6.0	35.8	45.6	36.7	20.0	3890	1770	9.23	6.23	311	236	378	266	3890	396	0.779	21.8
	8.0	46.5	59.2	26.3	13.8	4890	2220	9.08	6.12	391	296	482	340	5050	504	0.766	16.5
	10.0	57.0	72.6	20.0	10.0	5830	2630	8.96	6.02	466	351	582	409	6120	602	0.757	13.3
	12.0	66.0	84.1	15.8	7.50	6460	2930	8.77	5.90	517	390	658	463	7090	684	0.738	11.2
	12.5	68.3	87.0	15.0	7.00	6630	3000	8.73	5.87	531	400	678	477	7320	704	0.736	10.8
300 x 100	6.0	35.8	45.6	45.0	11.7	4780	842	10.2	4.30	318	168	411	188	2400	306	0.779	21.8
	8.0	46.5	59.2	32.5	7.50	5980	1050	10.0	4.20	399	209	523	238	3080	385	0.766	16.5
	10.0	57.0	72.6	25.0	5.00	7110	1220	9.90	4.11	474	245	631	285	3680	455	0.757	13.3
	12.5	68.3	87.0	19.0	3.00	8010	1370	9.59	3.97	534	275	732	330	4290	521	0.736	10.8
300 x 200	6.0	45.2	57.6	45.0	28.3	7370	3960	11.3	8.29	491	396	588	446	8120	651	0.979	21.6
	8.0	59.1	75.2	32.5	20.0	9390	5040	11.2	8.19	626	504	757	574	10600	838	0.966	16.3
	10.0	72.7	92.6	25.0	15.0	11300	6060	11.1	8.09	754	606	921	698	13000	1010	0.957	13.2
	12.0	84.8	108	20.0	11.7	12800	6850	10.9	7.96	853	685	1060	801	15200	1170	0.938	11.1
	12.5	88.0	112	19.0	11.0	13200	7060	10.8	7.94	879	706	1090	828	15800	1200	0.936	10.6
400 x 200	8.0	71.6	91.2	45.0	20.0	19000	6520	14.4	8.45	949	652	1170	728	15800	1130	1.17	16.3
	10.0	88.4	113	35.0	15.0	23000	7860	14.3	8.36	1150	786	1430	888	19400	1370	1.16	13.1
	12.0	104	132	28.3	11.7	26200	8980	14.1	8.24	1310	898	1660	1030	22800	1590	1.14	11.0
	12.5	108	137	27.0	11.0	27100	9260	14.1	8.22	1360	926	1710	1060	23600	1640	1.14	10.6
450 x 250	8.0	84.2	107	51.3	26.3	29300	11900	16.5	10.5	1300	953	1590	1060	27200	1630	1.37	16.2
	10.0	104	133	40.0	20.0	35700	14500	16.4	10.4	1590	1160	1950	1300	33500	1980	1.36	13.0
	12.0	123	156	32.5	15.8	41100	16700	16.2	10.3	1830	1330	2260	1520	39600	2310	1.34	10.9
	12.5	127	162	31.0	15.0	42500	17200	16.2	10.3	1890	1380	2350	1570	41100	2390	1.34	10.5
500 x 300	8.0	96.7	123	57.5	32.5	42800	19600	18.6	12.6	1710	1310	2060	1460	42800	2200	1.57	16.2
	10.0	120	153	45.0	25.0	52300	23900	18.5	12.5	2090	1600	2540	1790	52700	2690	1.56	13.0
	12.0	141	180	36.7	20.0	60600	27700	18.3	12.4	2420	1850	2960	2090	62600	3160	1.54	10.9
	12.5	147	187	35.0	19.0	62700	28700	18.3	12.4	2510	1910	3070	2170	65000	3270	1.54	10.5X

(1) For local buckling calculation d = D - 5t and b = B - 5t.

ASB (ASYMMETRIC BEAMS)





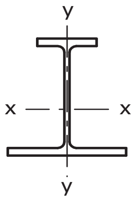
Dimensions and properties

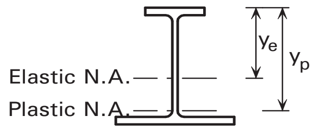
Section Designation	Mass per Metre	Depth of Section	Width of Flange		Thickness		Root Radius	Depth between Fillets	Ratios for Local Buckling			Second Moment of Area		Surface Area	
			Top	Bottom	Web	Flange			Flanges		Web	Axis x-x	Axis y-y	Per Metre	Per Tonne
		D	B_t	B_b	t	T	r	d	b_t/T	b_b/T	d/t				
	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm				cm^4	cm^4	m^2	m^2
300 ASB 249 ^	249	342	203	313	40.0	40.0	27.0	208	2.54	3.91	5.20	52900	13200	1.59	6.38
300 ASB 196	196	342	183	293	20.0	40.0	27.0	208	2.29	3.66	10.4	45900	10500	1.55	7.93
300 ASB 185 ^	185	320	195	305	32.0	29.0	27.0	208	3.36	5.26	6.50	35700	8750	1.53	8.29
300 ASB 155	155	326	179	289	16.0	32.0	27.0	208	2.80	4.52	13.0	34500	7990	1.51	9.71
300 ASB 153 ^	153	310	190	300	27.0	24.0	27.0	208	3.96	6.25	7.70	28400	6840	1.50	9.81
280 ASB 136 ^	136	288	190	300	25.0	22.0	24.0	196	4.32	6.82	7.84	22200	6260	1.46	10.7
280 ASB 124	124	296	178	288	13.0	26.0	24.0	196	3.42	5.54	15.1	23500	6410	1.46	11.8
280 ASB 105	105	288	176	286	11.0	22.0	24.0	196	4.00	6.50	17.8	19200	5300	1.44	13.7
280 ASB 100 ^	100	276	184	294	19.0	16.0	24.0	196	5.75	9.19	10.3	15500	4250	1.43	14.2
280 ASB 74	73.6	272	175	285	10.0	14.0	24.0	196	6.25	10.2	19.6	12200	3330	1.40	19.1

^ Sections are fire engineered with thick webs.

FOR EXPLANATION OF TABLES SEE NOTES 2 AND 3

ASB (ASYMMETRIC BEAMS)





Properties (Continued)

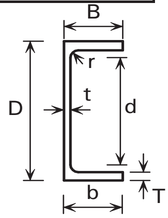
Section Designation	Radius of Gyration		Elastic Modulus			Neutral Axis Position		Plastic Modulus		Buckling Parameter	Torsional Index	Warping Constant	Torsional Constant	Area of Section
	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x Top	Axis x-x Bottom	Axis y-y	Elastic y_e	Plastic y_p	Axis x-x	Axis y-y	u	x	H	J	A
	cm	cm	cm^3	cm^3	cm^3	cm	cm	cm^3	cm^3			dm^6	cm^4	cm^2
300 ASB 249 ^	12.9	6.40	2760	3530	843	19.2	22.6	3760	1510	0.820	6.80	2.00	2000	318
300 ASB 196	13.6	6.48	2320	3180	714	19.8	28.1	3060	1230	0.840	7.86	1.50	1180	249
300 ASB 185 ^	12.3	6.10	1980	2540	574	18.0	21.0	2660	1030	0.820	8.56	1.20	871	235
300 ASB 155	13.2	6.35	1830	2520	553	18.9	27.3	2360	950	0.840	9.40	1.07	620	198
300 ASB 153 ^	12.1	5.93	1630	2090	456	17.4	20.4	2160	817	0.820	9.97	0.895	513	195
280 ASB 136 ^	11.3	6.00	1370	1770	417	16.3	19.2	1810	741	0.810	10.2	0.710	379	174
280 ASB 124	12.2	6.37	1360	1900	445	17.3	25.7	1730	761	0.830	10.5	0.721	332	158
280 ASB 105	12.0	6.30	1150	1610	370	16.8	25.3	1440	633	0.830	12.1	0.574	207	133
280 ASB 100 ^	11.0	5.76	995	1290	289	15.6	18.4	1290	511	0.810	13.2	0.451	160	128
280 ASB 74	11.4	5.96	776	1060	234	15.7	21.3	978	403	0.830	16.7	0.338	72.0	93.7

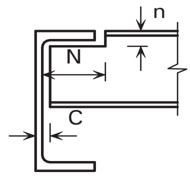
^ Sections are fire engineered with thick webs.
FOR EXPLANATION OF TABLES SEE NOTES 2 AND 3

BS 5950-1: 2000
BS 4-1: 2005

PARALLEL FLANGE CHANNELS

Advance UKPFC



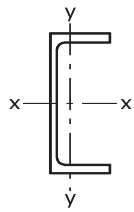


Dimensions

Section Designation	Mass per Metre	Depth of Section	Width of Section	Thickness		Root Radius	Depth between Fillets	Ratios for Local Buckling		Dimensions for Detailing			Surface Area	
				Web	Flange			Flange	Web	End Clearance	Notch		Per Metre	Per Tonne
		D	B	t	T	r	d	b/T	d/t	C	N	n		
	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm			mm	mm	mm	m^2	m^2
430x100x64	64.4	430	100	11.0	19.0	15	362	5.26	32.9	13	96	36	1.23	19.0
380x100x54	54.0	380	100	9.5	17.5	15	315	5.71	33.2	12	98	34	1.13	20.9
300x100x46	45.5	300	100	9.0	16.5	15	237	6.06	26.3	11	98	32	0.969	21.3
300x90x41	41.4	300	90	9.0	15.5	12	245	5.81	27.2	11	88	28	0.932	22.5
260x90x35	34.8	260	90	8.0	14.0	12	208	6.43	26.0	10	88	28	0.854	24.5
260x75x28	27.6	260	75	7.0	12.0	12	212	6.25	30.3	9	74	26	0.796	28.8
230x90x32	32.2	230	90	7.5	14.0	12	178	6.43	23.7	10	90	28	0.795	24.7
230x75x26	25.7	230	75	6.5	12.5	12	181	6.00	27.8	9	76	26	0.737	28.7
200x90x30	29.7	200	90	7.0	14.0	12	148	6.43	21.1	9	90	28	0.736	24.8
200x75x23	23.4	200	75	6.0	12.5	12	151	6.00	25.2	8	76	26	0.678	28.9
180x90x26	26.1	180	90	6.5	12.5	12	131	7.20	20.2	9	90	26	0.697	26.7
180x75x20	20.3	180	75	6.0	10.5	12	135	7.14	22.5	8	76	24	0.638	31.4
150x90x24	23.9	150	90	6.5	12.0	12	102	7.50	15.7	9	90	26	0.637	26.7
150x75x18	17.9	150	75	5.5	10.0	12	106	7.50	19.3	8	76	24	0.579	32.4
125x65x15	14.8	125	65	5.5	9.5	12	82.0	6.84	14.9	8	66	22	0.489	33.1
100x50x10	10.2	100	50	5.0	8.5	9	65.0	5.88	13.0	7	52	18	0.382	37.5

PARALLEL FLANGE CHANNELS

Advance UKPFC

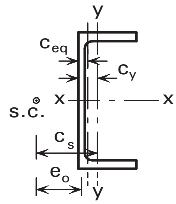


Properties

Section Designation	Second Moment of Area		Radius of Gyration		Elastic Modulus		Plastic Modulus		Buckling Parameter	Torsional Index	Warping Constant	Torsional Constant	Area of Section
	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	u	x	H	J	A
	cm^4	cm^4	cm	cm	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3			dm^6	cm^4	cm^2
430x100x64	21900	722	16.3	2.97	1020	97.9	1220	176	0.917	22.5	0.219	63.0	82.1
380x100x54	15000	643	14.8	3.06	791	89.2	933	161	0.933	21.2	0.150	45.7	68.7
300x100x46	8230	568	11.9	3.13	549	81.7	641	148	0.944	17.0	0.0813	36.8	58.0
300x90x41	7220	404	11.7	2.77	481	63.1	568	114	0.934	18.4	0.0581	28.8	52.7
260x90x35	4730	353	10.3	2.82	364	56.3	425	102	0.943	17.2	0.0379	20.6	44.4
260x75x28	3620	185	10.1	2.30	278	34.4	328	62.0	0.932	20.5	0.0203	11.7	35.1
230x90x32	3520	334	9.27	2.86	306	55.0	355	98.9	0.949	15.1	0.0279	19.3	41.0
230x75x26	2750	181	9.17	2.35	239	34.8	278	63.2	0.945	17.3	0.0153	11.8	32.7
200x90x30	2520	314	8.16	2.88	252	53.4	291	94.5	0.952	12.9	0.0197	18.3	37.9
200x75x23	1960	170	8.11	2.39	196	33.8	227	60.6	0.956	14.7	0.0107	11.1	29.9
180x90x26	1820	277	7.40	2.89	202	47.4	232	83.5	0.950	12.8	0.0141	13.3	33.2
180x75x20	1370	146	7.27	2.38	152	28.8	176	51.8	0.945	15.3	0.00754	7.34	25.9
150x90x24	1160	253	6.18	2.89	155	44.4	179	76.9	0.937	10.8	0.00890	11.8	30.4
150x75x18	861	131	6.15	2.40	115	26.6	132	47.2	0.945	13.1	0.00467	6.10	22.8
125x65x15	483	80.0	5.07	2.06	77.3	18.8	89.9	33.2	0.942	11.1	0.00194	4.72	18.8
100x50x10	208	32.3	4.00	1.58	41.5	9.89	48.9	17.5	0.942	10.0	0.000491	2.53	13.0

PARALLEL FLANGE CHANNELS

Advance UKPFC



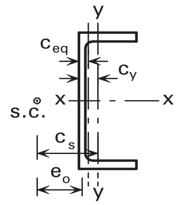
Major axis plastic modulus under axial load

Section Designation	Area of Section	Dimension				Plastic Modulus Axis x-x	Major Axis Reduced Modulus				
							Lower Values of n		Change Formula at n =	Higher Values of n	
	A	e_o	C_s	C_y	C_{eq}						
	cm^2	cm	cm	cm	cm	cm^3	K1	K2		K3	K4
430x100x64	82.1	3.27	5.34	2.62	0.954	1220	1220	1530	0.525	168	9.48
380x100x54	68.7	3.48	5.79	2.79	0.904	933	933	1240	0.477	118	10.1
300x100x46	58.0	3.68	6.29	3.05	1.31	641	641	934	0.414	84.1	9.35
300x90x41	52.7	3.18	5.33	2.60	0.879	568	568	772	0.459	77.2	9.24
260x90x35	44.4	3.32	5.66	2.74	1.14	425	425	615	0.418	54.7	9.55
260x75x28	35.1	2.62	4.37	2.10	0.676	328	328	441	0.470	41.2	10.1
230x90x32	41.0	3.46	6.01	2.92	1.69	355	355	559	0.370	46.6	9.11
230x75x26	32.7	2.78	4.75	2.30	1.03	278	278	411	0.408	35.6	9.55
200x90x30	37.9	3.60	6.37	3.12	2.24	291	291	512	0.318	39.8	8.51
200x75x23	29.9	2.91	5.09	2.48	1.53	227	227	372	0.352	29.7	9.04
180x90x26	33.2	3.64	6.48	3.17	2.36	232	232	424	0.304	30.6	8.76
180x75x20	25.9	2.87	4.98	2.41	1.34	176	176	280	0.368	22.4	9.42
150x90x24	30.4	3.71	6.69	3.30	2.66	179	179	356	0.269	25.7	7.88
150x75x18	22.8	2.99	5.29	2.58	1.81	132	132	236	0.314	17.3	8.88
125x65x15	18.8	2.56	4.53	2.25	1.55	89.9	89.9	161	0.310	13.6	7.64
100x50x10	13.0	1.94	3.43	1.73	1.18	48.9	48.9	84.5	0.319	8.45	6.69

e_o is the distance from the centre of the web to the shear centre.
C_s is the distance from the centroidal axis to the shear centre.
C_y is the distance from the back of the web to the centroidal axis.
C_{eq} is the distance from the back of the web to the equal area axis.
$n = F/(A_g.p_y)$, where F is the Factored axial load, A_g is the gross cross sectional area and p_y is the design strength of the section.
For lower values of n, the reduced plastic modulus, $S_r = K1 - K2.n^2$
For higher values of n, the reduced plastic modulus, $S_r = K3(1-n)(K4+n)$

PARALLEL FLANGE CHANNELS

Advance UKPFC



Minor axis plastic modulus under axial load

Section Designation	Dimension C_y cm	Plastic Modulus Axis y-y cm^3	Minor Axis reduced Modulus under axial load about centriodal axis												
			Axial load and moment inducing stresses of the same kind towards back of web						Change Formula at n =	Axial load and moment inducing stresses of the opposite kind towards back of web					
			Lower Values of n			Higher Values of n				Lower Values of n			Higher Values of n		
			K1	K2	K3	K1	K2	K3		K1	K2	K3	K1	K2	K3
430x100x64	2.62	176	176	39.2	3.49	162	443	0.634	0.152	176	39.2	3.49	176	39.2	3.49
380x100x54	2.79	161	161	31.1	4.17	158	338	0.532	0.0503	161	31.1	4.17	161	31.1	4.17
300x100x46	3.05	148	148	255	0.419	148	255	0.419	0.0689	148	255	0.419	149	28.0	4.32
300x90x41	2.60	114	114	23.2	3.92	113	224	0.495	0.0241	114	23.2	3.92	114	23.2	3.92
260x90x35	2.74	102	102	176	0.419	102	176	0.419	0.0626	102	176	0.419	103	18.9	4.42
260x75x28	2.10	62.0	62.0	11.9	4.22	61.0	129	0.525	0.0359	62.0	11.9	4.22	62.0	11.9	4.22
230x90x32	2.92	98.9	98.9	150	0.338	99.1	150	0.338	0.158	98.9	150	0.338	101	18.2	4.56
230x75x26	2.30	63.2	63.2	107	0.410	63.1	107	0.410	0.0854	63.2	107	0.410	63.6	11.6	4.47
200x90x30	3.12	94.5	94.5	128	0.261	94.5	128	0.261	0.260	94.5	128	0.261	100	17.9	4.60
200x75x23	2.48	60.6	60.6	89.2	0.318	60.8	89.2	0.318	0.196	60.6	89.2	0.318	62.8	11.2	4.64
180x90x26	3.17	83.5	83.5	110	0.242	83.5	110	0.242	0.295	83.5	110	0.242	89.8	15.3	4.87
180x75x20	2.41	51.8	51.8	79.9	0.350	51.9	79.9	0.350	0.166	51.8	79.9	0.350	53.1	9.32	4.70
150x90x24	3.30	76.9	76.9	96.3	0.201	76.9	96.3	0.201	0.359	76.9	96.3	0.201	85.0	15.4	4.52
150x75x18	2.58	47.2	47.2	64.8	0.271	47.2	64.8	0.271	0.275	47.2	64.8	0.271	50.1	8.64	4.80
125x65x15	2.25	33.2	33.2	46.5	0.281	33.4	46.5	0.281	0.269	33.2	46.5	0.281	35.2	7.07	3.98
100x50x10	1.73	17.5	17.5	24.8	0.291	17.6	24.8	0.291	0.231	17.5	24.8	0.291	18.3	4.22	3.33

C_y is the distance from the back of the web to the centroidal axis.

$n = F/(A_g.p_y)$, where F is the Factored axial load, A_g is the gross cross sectional area and p_y is the design strength of the section.

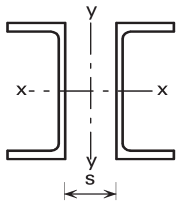
For axial load and moment inducing stresses of the same kind towards back of web, the reduced plastic modulus, $S_r = K1 + K2.n.(K3-n)$

For axial load and moment inducing stresses of the opposite kind towards back of web, the reduced plastic modulus, $S_r = K1 - K2.n.(K3+n)$

BS 5950-1: 2000
BS 4-1: 2005

TWO PARALLEL FLANGE CHANNELS LACED

TWO Advance UKPFC LACED

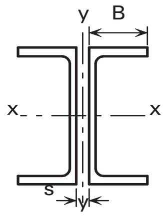


Dimensions and properties

Composed of Two Channels	Total Mass per Metre	Total Area	Space between Webs	Second Moment of Area		Radius of Gyration		Elastic Modulus		Plastic Modulus	
				Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y
			s								
	kg/m	cm^2	mm	cm^4	cm^4	cm	cm	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3
430x100x64	129	164	270	43900	44100	16.3	16.4	2040	1880	2440	2650
380x100x54	108	137	235	30100	30400	14.8	14.9	1580	1400	1870	2000
300x100x46	91.1	116	170	16500	16600	11.9	12.0	1100	898	1280	1340
300x90x41	82.8	105	175	14400	14400	11.7	11.7	962	811	1140	1200
260x90x35	69.7	88.8	145	9460	9560	10.3	10.4	727	588	849	886
260x75x28	55.2	70.3	155	7240	7190	10.1	10.1	557	472	656	692
230x90x32	64.3	81.9	120	7040	7190	9.27	9.37	612	479	709	731
230x75x26	51.3	65.4	135	5500	5720	9.17	9.35	478	401	557	592
200x90x30	59.4	75.7	90.0	5050	5030	8.16	8.15	505	372	583	577
200x75x23	46.9	59.7	105	3930	3910	8.11	8.09	393	306	454	462
180x90x26	52.1	66.4	75.0	3640	3730	7.40	7.49	404	292	464	459
180x75x20	40.7	51.8	90.0	2740	2770	7.27	7.31	304	231	352	358
150x90x24	47.7	60.8	45.0	2320	2380	6.18	6.26	310	212	357	338
150x75x18	35.7	45.5	65.0	1720	1810	6.15	6.30	230	168	264	265
125x65x15	29.5	37.6	50.0	966	1010	5.07	5.18	155	112	180	178
100x50x10	20.4	26.0	40.0	415	427	4.00	4.05	83.1	61.0	97.7	97.1

TWO PARALLEL FLANGE CHANNELS BACK TO BACK

TWO Advance UKPFC BACK TO BACK



Dimensions and properties

Composed of Two Channels	Total Mass per Metre	Total Area	Properties about Axis x-x				Radius of Gyration r_y about Axis y-y (cm)				
			I_x	r_x	Z_x	S_x	Space between webs, s (mm)				
	kg/m	cm^2	cm^4	cm	cm^3	cm^3	0	8	10	12	15
430x100x64	129	164	43900	16.3	2040	2440	3.96	4.23	4.31	4.38	4.49
380x100x54	108	137	30100	14.8	1580	1870	4.14	4.42	4.49	4.57	4.68
300x100x46	91.1	116	16500	11.9	1100	1280	4.37	4.66	4.73	4.81	4.92
300x90x41	82.8	105	14400	11.7	962	1140	3.80	4.08	4.16	4.23	4.35
260x90x35	69.7	88.8	9460	10.3	727	849	3.93	4.22	4.29	4.37	4.48
260x75x28	55.2	70.3	7240	10.1	557	656	3.11	3.40	3.47	3.55	3.66
230x90x32	64.3	81.9	7040	9.27	612	709	4.09	4.38	4.46	4.53	4.65
230x75x26	51.3	65.4	5500	9.17	478	557	3.29	3.58	3.66	3.73	3.85
200x90x30	59.4	75.7	5050	8.16	505	583	4.25	4.55	4.63	4.71	4.83
200x75x23	46.9	59.7	3930	8.11	393	454	3.44	3.74	3.82	3.89	4.01
180x90x26	52.1	66.4	3640	7.40	404	464	4.29	4.59	4.67	4.75	4.87
180x75x20	40.7	51.8	2740	7.27	304	352	3.39	3.68	3.76	3.84	3.95
150x90x24	47.7	60.8	2320	6.18	310	357	4.39	4.69	4.77	4.85	4.98
150x75x18	35.7	45.5	1720	6.15	230	264	3.52	3.82	3.90	3.98	4.10
125x65x15	29.5	37.6	966	5.07	155	180	3.05	3.36	3.44	3.52	3.64
100x50x10	20.4	26.0	415	4.00	83.1	97.7	2.34	2.65	2.73	2.82	2.94

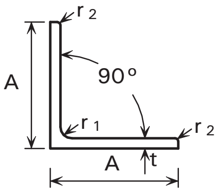
Properties about y axis:
I_y = (Total Area).$(r_y)^2$
$Z_y = I_y/(B+0.5s)$
where s is the space between webs.

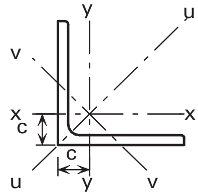
[BLANK PAGE]

BS 5950-1: 2000
BS EN 10056-1: 1999

EQUAL ANGLES

Advance UKA - Equal Angles





Dimensions and properties

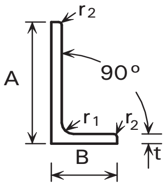
Section Designation		Mass per Metre	Radius		Area of Section	Dimension	Second Moment of Area			Radius of Gyration			Elastic Modulus	Torsional Constant	Equivalent Slenderness Coefficient
Size	Thickness		Root	Toe			Axis x-x, y-y	Axis u-u	Axis v-v	Axis x-x, y-y	Axis u-u	Axis v-v	Axis x-x, y-y		
A x A	t		r_1	r_2		c								J	ϕ_a
mm	mm	kg/m	mm	mm	cm^2	cm	cm^4	cm^4	cm^4	cm	cm	cm	cm^3	cm^4	
200x200	24	71.1	18.0	9.00	90.6	5.84	3330	5280	1380	6.06	7.64	3.90	235	182	2.50
	20	59.9	18.0	9.00	76.3	5.68	2850	4530	1170	6.11	7.70	3.92	199	107	3.05
	18	54.3	18.0	9.00	69.1	5.60	2600	4150	1050	6.13	7.75	3.90	181	78.9	3.43
	16	48.5	18.0	9.00	61.8	5.52	2340	3720	960	6.16	7.76	3.94	162	56.1	3.85
150x150	18 +	40.1	16.0	8.00	51.2	4.38	1060	1680	440	4.55	5.73	2.93	99.8	58.6	2.48
	15	33.8	16.0	8.00	43.0	4.25	898	1430	370	4.57	5.76	2.93	83.5	34.6	3.01
	12	27.3	16.0	8.00	34.8	4.12	737	1170	303	4.60	5.80	2.95	67.7	18.2	3.77
	10	23.0	16.0	8.00	29.3	4.03	624	990	258	4.62	5.82	2.97	56.9	10.8	4.51
120x120	15 +	26.6	13.0	6.50	34.0	3.52	448	710	186	3.63	4.57	2.34	52.8	27.0	2.37
	12	21.6	13.0	6.50	27.5	3.40	368	584	152	3.65	4.60	2.35	42.7	14.2	2.99
	10	18.2	13.0	6.50	23.2	3.31	313	497	129	3.67	4.63	2.36	36.0	8.41	3.61
	8 +	14.7	13.0	6.50	18.8	3.24	259	411	107	3.71	4.67	2.38	29.5	4.44	4.56
100x100	15 +	21.9	12.0	6.00	28.0	3.02	250	395	105	2.99	3.76	1.94	35.8	22.3	1.92
	12	17.8	12.0	6.00	22.7	2.90	207	328	85.7	3.02	3.80	1.94	29.1	11.8	2.44
	10	15.0	12.0	6.00	19.2	2.82	177	280	73.0	3.04	3.83	1.95	24.6	6.97	2.94
	8	12.2	12.0	6.00	15.5	2.74	145	230	59.9	3.06	3.85	1.96	19.9	3.68	3.70
90x90	12 +	15.9	11.0	5.50	20.3	2.66	149	235	62.0	2.71	3.40	1.75	23.5	10.5	2.17
	10	13.4	11.0	5.50	17.1	2.58	127	201	52.6	2.72	3.42	1.75	19.8	6.20	2.64
	8	10.9	11.0	5.50	13.9	2.50	104	166	43.1	2.74	3.45	1.76	16.1	3.28	3.33
	7	9.61	11.0	5.50	12.2	2.45	92.6	147	38.3	2.75	3.46	1.77	14.1	2.24	3.80
80x80	10	11.9	10.0	5.00	15.1	2.34	87.5	139	36.4	2.41	3.03	1.55	15.4	5.45	2.33
	8	9.63	10.0	5.00	12.3	2.26	72.2	115	29.9	2.43	3.06	1.56	12.6	2.88	2.94
75x75	8	8.99	9.00	4.50	11.4	2.14	59.1	93.8	24.5	2.27	2.86	1.46	11.0	2.65	2.76
	6	6.85	9.00	4.50	8.73	2.05	45.8	72.7	18.9	2.29	2.89	1.47	8.41	1.17	3.70
70x70	7	7.38	9.00	4.50	9.40	1.97	42.3	67.1	17.5	2.12	2.67	1.36	8.41	1.69	2.92
	6	6.38	9.00	4.50	8.13	1.93	36.9	58.5	15.3	2.13	2.68	1.37	7.27	1.09	3.41
65x65	7	6.83	9.00	4.50	8.73	2.05	33.4	53.0	13.8	1.96	2.47	1.26	7.18	1.58	2.67
60x60	8	7.09	8.00	4.00	9.03	1.77	29.2	46.1	12.2	1.80	2.26	1.16	6.89	2.09	2.14
	6	5.42	8.00	4.00	6.91	1.69	22.8	36.1	9.44	1.82	2.29	1.17	5.29	0.922	2.90
	5	4.57	8.00	4.00	5.82	1.64	19.4	30.7	8.03	1.82	2.30	1.17	4.45	0.550	3.48
50x50	6	4.47	7.00	3.50	5.69	1.45	12.8	20.3	5.34	1.50	1.89	0.968	3.61	0.755	2.38
	5	3.77	7.00	3.50	4.80	1.40	11.0	17.4	4.55	1.51	1.90	0.973	3.05	0.450	2.88
	4	3.06	7.00	3.50	3.89	1.36	8.97	14.2	3.73	1.52	1.91	0.979	2.46	0.240	3.57
45x45	5	3.06	7.00	3.50	3.90	1.25	7.14	11.4	2.94	1.35	1.71	0.870	2.20	0.304	2.84
40x40	5	2.97	6.00	3.00	3.79	1.16	5.43	8.60	2.26	1.20	1.51	0.773	1.91	0.352	2.26
	4	2.42	6.00	3.00	3.08	1.12	4.47	7.09	1.86	1.21	1.52	0.777	1.55	0.188	2.83
35x35	4	2.09	5.00	2.50	2.67	1.00	2.95	4.68	1.23	1.05	1.32	0.678	1.18	0.158	2.50
30x30	4	1.78	5.00	2.50	2.27	0.878	1.80	2.85	0.754	0.892	1.12	0.577	0.850	0.137	2.07
	3	1.36	5.00	2.50	1.74	0.835	1.40	2.22	0.585	0.899	1.13	0.581	0.649	0.0613	2.75
25x25	4	1.45	3.50	1.75	1.85	0.762	1.02	1.61	0.430	0.741	0.931	0.482	0.586	0.1070	1.75
	3	1.12	3.50	1.75	1.42	0.723	0.803	1.27	0.334	0.751	0.945	0.484	0.452	0.0472	2.38
20x20	3	0.882	3.50	1.75	1.12	0.598	0.392	0.618	0.165	0.590	0.742	0.383	0.279	0.0382	1.81

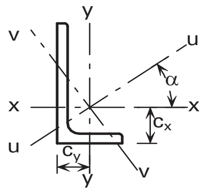
+ These sections are in addition to the range of BS EN 10056-1 sections.
c is the distance from the back of the leg to the centre of gravity.

BS 5950-1: 2000
BS EN 10056-1: 1999

UNEQUAL ANGLES

Advance UKA - Unequal Angles





Dimensions and properties

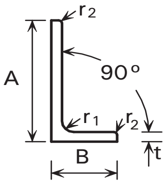
Section Designation		Mass per	Radius		Dimension		Second Moment of Area				Radius of Gyration			
Size	Thickness	Metre	Root	Toe			Axis x-x	Axis y-y	Axis u-u	Axis v-v	Axis x-x	Axis y-y	Axis u-u	Axis v-v
A x B	t		r_1	r_2	c_x	c_y								
mm	mm	kg/m	mm	mm	cm	cm	cm^4	cm^4	cm^4	cm^4	cm	cm	cm	cm
200x150	18 +	47.1	15.0	7.50	6.33	3.85	2380	1150	2920	623	6.29	4.37	6.97	3.22
	15	39.6	15.0	7.50	6.21	3.73	2020	979	2480	526	6.33	4.40	7.00	3.23
	12	32.0	15.0	7.50	6.08	3.61	1650	803	2030	430	6.36	4.44	7.04	3.25
200x100	15	33.8	15.0	7.50	7.16	2.22	1760	299	1860	193	6.40	2.64	6.59	2.12
	12	27.3	15.0	7.50	7.03	2.10	1440	247	1530	159	6.43	2.67	6.63	2.14
	10	23.0	15.0	7.50	6.93	2.01	1220	210	1290	135	6.46	2.68	6.65	2.15
150x90	15	33.9	12.0	6.00	5.21	2.23	761	205	841	126	4.74	2.46	4.98	1.93
	12	21.6	12.0	6.00	5.08	2.12	627	171	694	104	4.77	2.49	5.02	1.94
	10	18.2	12.0	6.00	5.00	2.04	533	146	591	88.3	4.80	2.51	5.05	1.95
150x75	15	24.8	12.0	6.00	5.52	1.81	713	119	753	78.6	4.75	1.94	4.88	1.58
	12	20.2	12.0	6.00	5.40	1.69	588	99.6	623	64.7	4.78	1.97	4.92	1.59
	10	17.0	12.0	6.00	5.31	1.61	501	85.6	531	55.1	4.81	1.99	4.95	1.60
125x75	12	17.8	11.0	5.50	4.31	1.84	354	95.5	391	58.5	3.95	2.05	4.15	1.61
	10	15.0	11.0	5.50	4.23	1.76	302	82.1	334	49.9	3.97	2.07	4.18	1.61
	8	12.2	11.0	5.50	4.14	1.68	247	67.6	274	40.9	4.00	2.09	4.21	1.63
100x75	12	15.4	10.0	5.00	3.27	2.03	189	90.2	230	49.5	3.10	2.14	3.42	1.59
	10	13.0	10.0	5.00	3.19	1.95	162	77.6	197	42.2	3.12	2.16	3.45	1.59
	8	10.6	10.0	5.00	3.10	1.87	133	64.1	162	34.6	3.14	2.18	3.47	1.60
100x65	10 +	12.3	10.0	5.00	3.36	1.63	154	51.0	175	30.1	3.14	1.81	3.35	1.39
	8 +	9.94	10.0	5.00	3.27	1.55	127	42.2	144	24.8	3.16	1.83	3.37	1.40
	7 +	8.77	10.0	5.00	3.23	1.51	113	37.6	128	22.0	3.17	1.83	3.39	1.40
100x50	8	8.97	8.00	4.00	3.60	1.13	116	19.7	123	12.8	3.19	1.31	3.28	1.06
	6	6.84	8.00	4.00	3.51	1.05	89.9	15.4	95.4	9.92	3.21	1.33	3.31	1.07
80x60	7	7.36	8.00	4.00	2.51	1.52	59.0	28.4	72.0	15.4	2.51	1.74	2.77	1.28
80x40	8	7.07	7.00	3.50	2.94	0.963	57.6	9.61	60.9	6.34	2.53	1.03	2.60	0.838
	6	5.41	7.00	3.50	2.85	0.884	44.9	7.59	47.6	4.93	2.55	1.05	2.63	0.845
75x50	8	7.39	7.00	3.50	2.52	1.29	52.0	18.4	59.6	10.8	2.35	1.40	2.52	1.07
	6	5.65	7.00	3.50	2.44	1.21	40.5	14.4	46.6	8.36	2.37	1.42	2.55	1.08
70x50	6	5.41	7.00	3.50	2.23	1.25	33.4	14.2	39.7	7.92	2.20	1.43	2.40	1.07
65x50	5	4.35	6.00	3.00	1.99	1.25	23.2	11.9	28.8	6.32	2.05	1.47	2.28	1.07
60x40	6	4.46	6.00	3.00	2.00	1.01	20.1	7.12	23.1	4.16	1.88	1.12	2.02	0.855
	5	3.76	6.00	3.00	1.96	0.972	17.2	6.11	19.7	3.54	1.89	1.13	2.03	0.860
60x30	5	3.36	5.00	2.50	2.17	0.684	15.6	2.63	16.5	1.71	1.91	0.784	1.97	0.633
50x30	5	2.96	5.00	2.50	1.73	0.741	9.36	2.51	10.3	1.54	1.57	0.816	1.65	0.639
45x30	4	2.25	4.50	2.25	1.48	0.740	5.78	2.05	6.65	1.18	1.42	0.850	1.52	0.640
40x25	4	1.93	4.00	2.00	1.36	0.623	3.89	1.16	4.35	0.700	1.26	0.687	1.33	0.534
40x20	4	1.77	4.00	2.00	1.47	0.480	3.59	0.600	3.80	0.393	1.26	0.514	1.30	0.417
30x20	4	1.46	4.00	2.00	1.03	0.541	1.59	0.553	1.81	0.330	0.925	0.546	0.988	0.421
	3	1.12	4.00	2.00	0.990	0.502	1.25	0.437	1.43	0.256	0.935	0.553	1.00	0.424

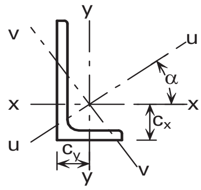
+ These sections are in addition to the range of BS EN 10056-1 sections.
c_x is the distance from the back of the short leg to the centre of gravity.
c_y is the distance from the back of the long leg to the centre of gravity.

BS 5950-1: 2000
BS EN 10056-1: 1999

UNEQUAL ANGLES

Advance UKA - Unequal Angles





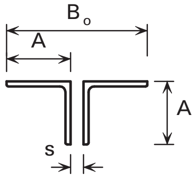
Dimensions and properties (continued)

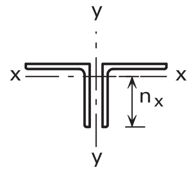
Section Designation		Elastic Modulus		Angle Axis x-x to Axis u-u	Torsional Constant	Equivalent Slenderness Coefficient		Mono-symmetry Index	Area of Section
Size A x B mm	Thickness t mm	Axis x-x cm^3	Axis y-y cm^3	Tan α	J cm^4	Min ϕ_a	Max ϕ_a	ψ_a	cm^2
200x150	18 +	174	103	0.549	67.9	2.93	3.72	4.60	60.0
	15	147	86.9	0.551	39.9	3.53	4.50	5.55	50.5
	12	119	70.5	0.552	20.9	4.43	5.70	6.97	40.8
200x100	15	137	38.5	0.260	34.3	3.54	5.17	9.19	43.0
	12	111	31.3	0.262	18.0	4.42	6.57	11.5	34.8
	10	93.2	26.3	0.263	10.66	5.26	7.92	13.9	29.2
150x90	15	77.7	30.4	0.354	26.8	2.58	3.59	5.96	33.9
	12	63.3	24.8	0.358	14.1	3.24	4.58	7.50	27.5
	10	53.3	21.0	0.360	8.30	3.89	5.56	9.03	23.2
150x75	15	75.2	21.0	0.253	25.1	2.62	3.74	6.84	31.7
	12	61.3	17.1	0.258	13.2	3.30	4.79	8.60	25.7
	10	51.6	14.5	0.261	7.80	3.95	5.83	10.4	21.7
125x75	12	43.2	16.9	0.354	11.6	2.66	3.73	6.23	22.7
	10	36.5	14.3	0.357	6.87	3.21	4.55	7.50	19.1
	8	29.6	11.6	0.360	3.62	4.00	5.75	9.43	15.5
100x75	12	28.0	16.5	0.540	10.05	2.10	2.64	3.46	19.7
	10	23.8	14.0	0.544	5.95	2.54	3.22	4.17	16.6
	8	19.3	11.4	0.547	3.13	3.18	4.08	5.24	13.5
100x65	10 +	23.2	10.5	0.410	5.61	2.52	3.43	5.45	15.6
	8 +	18.9	8.54	0.413	2.96	3.14	4.35	6.86	12.7
	7 +	16.6	7.53	0.415	2.02	3.58	5.00	7.85	11.2
100x50	8	18.2	5.08	0.258	2.61	3.30	4.80	8.61	11.4
	6	13.8	3.89	0.262	1.14	4.38	6.52	11.6	8.71
80x60	7	10.7	6.34	0.546	1.66	2.92	3.72	4.78	9.38
80x40	8	11.4	3.16	0.253	2.05	2.61	3.73	6.85	9.01
	6	8.73	2.44	0.258	0.899	3.48	5.12	9.22	6.89
75x50	8	10.4	4.95	0.430	2.14	2.36	3.18	4.92	9.41
	6	8.01	3.81	0.435	0.935	3.18	4.34	6.60	7.19
70x50	6	7.01	3.78	0.500	0.899	2.96	3.89	5.44	6.89
65x50	5	5.14	3.19	0.577	0.498	3.38	4.26	5.08	5.54
60x40	6	5.03	2.38	0.431	0.735	2.51	3.39	5.26	5.68
	5	4.25	2.02	0.434	0.435	3.02	4.11	6.34	4.79
60x30	5	4.07	1.14	0.257	0.382	3.15	4.56	8.26	4.28
50x30	5	2.86	1.11	0.352	0.340	2.51	3.52	5.99	3.78
45x30	4	1.91	0.910	0.436	0.166	2.85	3.87	5.92	2.87
40x25	4	1.47	0.619	0.380	0.142	2.51	3.48	5.75	2.46
40x20	4	1.42	0.393	0.252	0.131	2.57	3.68	6.86	2.26
30x20	4	0.807	0.379	0.421	0.1096	1.79	2.39	3.95	1.86
	3	0.621	0.292	0.427	0.0486	2.40	3.28	5.31	1.43

+ These sections are in addition to the range of BS EN 10056-1 sections.

EQUAL ANGLES BACK TO BACK

Advance UKA - Equal Angles BACK TO BACK





Dimensions and properties

Composed of Two Angles		Total Mass per Metre	Distance	Total Area	Properties about Axis x-x			Radius of Gyration r_y about Axis y-y (cm)				
A x A	t		n_x		I_x	r_x	Z_x	Space between angles, s, (mm)				
mm	mm	kg/m	cm	cm^2	cm^4	cm	cm^3	0	8	10	12	15
200x200	24	142	14.2	181	6660	6.06	470	8.42	8.70	8.77	8.84	8.95
	20	120	14.3	153	5700	6.11	398	8.34	8.62	8.69	8.76	8.87
	18	109	14.4	138	5200	6.13	362	8.31	8.58	8.65	8.72	8.83
	16	97.0	14.5	124	4680	6.16	324	8.27	8.54	8.61	8.68	8.79
150x150	18 +	80.2	10.6	102	2120	4.55	200	6.32	6.60	6.67	6.75	6.86
	15	67.6	10.8	86.0	1800	4.57	167	6.24	6.52	6.59	6.66	6.77
	12	54.6	10.9	69.6	1470	4.60	135	6.18	6.45	6.52	6.59	6.70
	10	46.0	11.0	58.6	1250	4.62	114	6.13	6.40	6.47	6.54	6.64
120x120	15 +	53.2	8.48	68.0	896	3.63	106	5.06	5.34	5.42	5.49	5.60
	12	43.2	8.60	55.0	736	3.65	85.4	4.99	5.27	5.35	5.42	5.53
	10	36.4	8.69	46.4	626	3.67	72.0	4.94	5.22	5.29	5.36	5.47
	8 +	29.4	8.76	37.6	518	3.71	59.0	4.93	5.20	5.27	5.34	5.45
100x100	15 +	43.8	6.98	56.0	500	2.99	71.6	4.25	4.54	4.62	4.69	4.81
	12	35.6	7.10	45.4	414	3.02	58.2	4.19	4.47	4.55	4.62	4.74
	10	30.0	7.18	38.4	354	3.04	49.2	4.14	4.43	4.50	4.57	4.69
	8	24.4	7.26	31.0	290	3.06	39.8	4.11	4.38	4.46	4.53	4.64
90x90	12 +	31.8	6.34	40.6	298	2.71	47.0	3.80	4.09	4.16	4.24	4.36
	10	26.8	6.42	34.2	254	2.72	39.6	3.75	4.04	4.11	4.19	4.30
	8	21.8	6.50	27.8	208	2.74	32.2	3.71	3.99	4.06	4.13	4.25
	7	19.2	6.55	24.4	185	2.75	28.2	3.69	3.96	4.04	4.11	4.22
80x80	10	23.8	5.66	30.2	175	2.41	30.8	3.36	3.65	3.72	3.80	3.92
	8	19.3	5.74	24.6	144	2.43	25.2	3.31	3.60	3.67	3.75	3.86
75x75	8	18.0	5.36	22.8	118	2.27	22.0	3.12	3.41	3.49	3.56	3.68
	6	13.7	5.45	17.5	91.6	2.29	16.8	3.07	3.35	3.43	3.50	3.62
70x70	7	14.8	5.03	18.8	84.6	2.12	16.8	2.89	3.18	3.26	3.33	3.45
	6	12.8	5.07	16.3	73.8	2.13	14.5	2.87	3.16	3.23	3.31	3.42
65x65	7	13.7	4.45	17.5	66.8	1.96	14.4	2.83	3.14	3.21	3.29	3.42
60x60	8	14.2	4.23	18.1	58.4	1.80	13.8	2.52	2.82	2.90	2.97	3.10
	6	10.8	4.31	13.8	45.6	1.82	10.6	2.48	2.77	2.85	2.92	3.04
	5	9.14	4.36	11.6	38.8	1.82	8.90	2.45	2.74	2.81	2.89	3.01
50x50	6	8.94	3.55	11.4	25.6	1.50	7.22	2.09	2.38	2.46	2.54	2.66
	5	7.54	3.60	9.60	22.0	1.51	6.10	2.06	2.35	2.43	2.51	2.63
	4	6.12	3.64	7.78	17.9	1.52	4.92	2.04	2.32	2.40	2.48	2.60

+ These sections are in addition to the range of BS EN 10056-1 sections.

Properties about y-y axis:

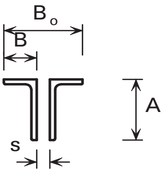
I_y = (Total Area).$(r_y)^2$

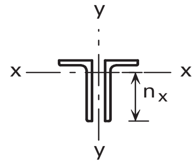
$Z_y = I_y / (0.5B_o)$

BS 5950-1: 2000
BS EN 10056-1: 1999

UNEQUAL ANGLES BACK TO BACK

Advance UKA - Unequal Angles BACK TO BACK





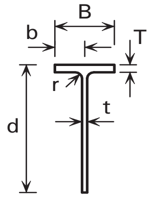
Dimensions and properties

Composed of Two Angles		Total Mass per Metre	Distance	Total Area	Properties about Axis x-x			Radius of Gyration r_y about Axis y-y (cm)				
A x B	t		n_x		I_x	r_x	Z_x	Space between angles, s, (mm)				
mm	mm	kg/m	cm	cm^2	cm^4	cm	cm^3	0	8	10	12	15
200x150	18 +	94.2	13.7	120	4750	6.29	348	5.84	6.11	6.18	6.25	6.36
	15	79.2	13.8	101	4040	6.33	294	5.77	6.04	6.11	6.18	6.28
	12	64.0	13.9	81.6	3300	6.36	238	5.72	5.98	6.05	6.12	6.22
200x100	15	67.5	12.8	86.0	3520	6.40	274	3.45	3.72	3.79	3.86	3.97
	12	54.6	13.0	69.6	2880	6.43	222	3.39	3.65	3.72	3.79	3.90
	10	46.0	13.1	58.4	2440	6.46	186	3.35	3.61	3.67	3.74	3.85
150x90	15	53.2	9.79	67.8	1522	4.74	155	3.32	3.60	3.67	3.75	3.86
	12	43.2	9.92	55.0	1250	4.77	127	3.27	3.55	3.62	3.69	3.80
	10	36.4	10.0	46.4	1070	4.80	107	3.23	3.50	3.57	3.64	3.75
150x75	15	49.6	9.48	63.4	1430	4.75	150	2.65	2.94	3.01	3.09	3.21
	12	40.4	9.60	51.4	1180	4.78	123	2.59	2.87	2.94	3.02	3.14
	10	34.0	9.69	43.4	1000	4.81	103	2.56	2.83	2.90	2.97	3.08
125x75	12	35.6	8.19	45.4	708	3.95	86.4	2.76	3.04	3.11	3.19	3.30
	10	30.0	8.27	38.2	604	3.97	73.0	2.72	2.99	3.07	3.14	3.26
	8	24.4	8.36	31.0	494	4.00	59.2	2.68	2.95	3.02	3.09	3.20
100x75	12	30.8	6.73	39.4	378	3.10	56.0	2.95	3.24	3.31	3.39	3.51
	10	26.0	6.81	33.2	324	3.12	47.6	2.91	3.19	3.27	3.34	3.46
	8	21.2	6.90	27.0	266	3.14	38.6	2.87	3.15	3.22	3.29	3.41
100x65	10 +	24.6	6.64	31.2	308	3.14	46.4	2.43	2.72	2.79	2.87	2.99
	8 +	19.9	6.73	25.4	254	3.16	37.8	2.39	2.67	2.74	2.82	2.93
	7 +	17.5	6.77	22.4	226	3.17	33.2	2.37	2.65	2.72	2.79	2.91
100x50	8	17.9	6.40	22.8	232	3.19	36.4	1.73	2.02	2.09	2.17	2.29
	6	13.7	6.49	17.4	180	3.21	27.6	1.69	1.97	2.04	2.12	2.24
80x60	7	14.7	5.49	18.8	118	2.51	21.4	2.31	2.59	2.67	2.74	2.86
80x40	8	14.1	5.06	18.0	115	2.53	22.8	1.41	1.71	1.79	1.87	2.00
	6	10.8	5.15	13.8	89.8	2.55	17.5	1.37	1.66	1.74	1.82	1.94
75x50	8	14.8	4.98	18.8	104	2.35	20.8	1.90	2.19	2.27	2.35	2.47
	6	11.3	5.06	14.4	81.0	2.37	16.0	1.86	2.14	2.22	2.30	2.42
70x50	6	10.8	4.77	13.8	66.8	2.20	14.0	1.90	2.19	2.26	2.34	2.46
65x50	5	8.70	4.51	11.1	46.4	2.05	10.3	1.93	2.21	2.28	2.36	2.48
60x40	6	8.92	4.00	11.4	40.2	1.88	10.1	1.51	1.80	1.88	1.96	2.09
	5	7.52	4.04	9.58	34.4	1.89	8.50	1.49	1.78	1.86	1.94	2.06

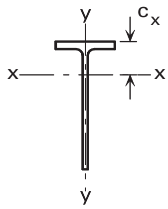
\+ These sections are in addition to the range of BS EN 10056-1 sections.
Properties about y-y axis:
I_y = (Total Area).$(r_y)^2$
$Z_y = I_y / (0.5B_o)$

BS 5950-1: 2000
BS 4-1: 2005

STRUCTURAL TEES CUT FROM UNIVERSAL BEAMS



Advance UKT split from Advance UKB



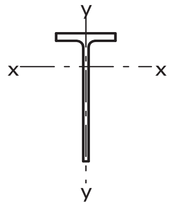
Dimensions and properties

Section Designation	Cut from Universal Beam	Mass per Metre	Width of Section	Depth of Section	Thickness		Root Radius	Ratios for Local Buckling		Dimension	Second Moment of Area	
					Web	Flange		Flange	Web		Axis x-x	Axis y-y
			B	d	t	T	r	b/T	d/t	c_x		
		kg/m	mm	mm	mm	mm	mm			cm	cm^4	cm^4
305x457x127	914x305x253	126.7	305.5	459.1	17.3	27.9	19.1	5.47	26.5	12.0	32700	6650
305x457x112	914x305x224	112.1	304.1	455.1	15.9	23.9	19.1	6.36	28.6	12.1	29100	5620
305x457x101	914x305x201	100.4	303.3	451.4	15.1	20.2	19.1	7.51	29.9	12.5	26400	4710
292x419x113	838x292x226	113.3	293.8	425.4	16.1	26.8	17.8	5.48	26.4	10.8	24600	5680
292x419x97	838x292x194	96.9	292.4	420.3	14.7	21.7	17.8	6.74	28.6	11.1	21300	4530
292x419x88	838x292x176	87.9	291.7	417.4	14.0	18.8	17.8	7.76	29.8	11.4	19600	3900
267x381x99	762x267x197	98.4	268.0	384.8	15.6	25.4	16.5	5.28	24.7	9.89	17500	4090
267x381x87	762x267x173	86.5	266.7	381.0	14.3	21.6	16.5	6.17	26.6	9.98	15500	3430
267x381x74	762x267x147	73.5	265.2	376.9	12.8	17.5	16.5	7.58	29.4	10.2	13200	2730
267x381x67	762x267x134	66.9	264.4	374.9	12.0	15.5	16.5	8.53	31.2	10.3	12100	2390
254x343x85	686x254x170	85.1	255.8	346.4	14.5	23.7	15.2	5.40	23.9	8.67	12100	3320
254x343x76	686x254x152	76.2	254.5	343.7	13.2	21.0	15.2	6.06	26.0	8.61	10800	2890
254x343x70	686x254x140	70.0	253.7	341.7	12.4	19.0	15.2	6.68	27.6	8.63	9910	2590
254x343x63	686x254x125	62.6	253.0	338.9	11.7	16.2	15.2	7.81	29.0	8.85	8980	2190
305x305x119	610x305x238	119.0	311.4	317.9	18.4	31.4	16.5	4.96	17.3	7.11	12400	7920
305x305x90	610x305x179	89.5	307.1	310.0	14.1	23.6	16.5	6.51	22.0	6.69	9040	5700
305x305x75	610x305x149	74.6	304.8	306.1	11.8	19.7	16.5	7.74	25.9	6.45	7410	4650
229x305x70	610x229x140	69.9	230.2	308.5	13.1	22.1	12.7	5.21	23.5	7.61	7740	2250
229x305x63	610x229x125	62.5	229.0	306.0	11.9	19.6	12.7	5.84	25.7	7.54	6900	1970
229x305x57	610x229x113	56.5	228.2	303.7	11.1	17.3	12.7	6.60	27.4	7.58	6270	1720
229x305x51	610x229x101	50.6	227.6	301.2	10.5	14.8	12.7	7.69	28.7	7.78	5690	1460
178x305x50 +	610x178x100	50.1	179.2	303.7	11.3	17.2	12.7	5.21	26.9	8.57	5890	829
178x305x46 +	610x178x92	46.1	178.8	301.5	10.9	15.0	12.7	5.96	27.7	8.78	5450	718
178x305x41 +	610x178x82	40.9	177.9	299.3	10.0	12.8	12.7	6.95	29.9	8.88	4840	603
312x267x136 +	533x312x272	136.6	320.2	288.8	21.1	37.6	12.7	4.26	13.7	6.28	10600	10300
312x267x110 +	533x312x219	109.4	317.4	280.4	18.3	29.2	12.7	5.43	15.3	6.09	8530	7790
312x267x91 +	533x312x182	90.7	314.5	275.6	15.2	24.4	12.7	6.44	18.1	5.78	6890	6330
312x267x75 +	533x312x151	75.3	312.0	271.5	12.7	20.3	12.7	7.68	21.4	5.54	5620	5140

+ These sections are in addition to the range of BS 4 sections

STRUCTURAL TEES CUT FROM UNIVERSAL BEAMS

Advance UKT split from Advance UKB



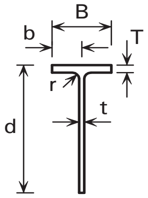
Properties (continued)

Section Designation	Radius of Gyration		Elastic Modulus			Plastic Modulus		Buckling Parameter	Torsional Index	Mono-symmetry Index	Warping Constant (*)	Torsional Constant	Area of Section
	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x		Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y						
			Flange	Toe				u	x	ψ	H	J	A
	cm	cm	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3				cm^6	cm^4	cm^2
305x457x127	14.2	6.42	2720	965	435	1730	685	0.656	18.1	0.749	17000	313	161
305x457x112	14.3	6.27	2400	871	369	1570	582	0.666	20.6	0.753	12400	211	143
305x457x101	14.4	6.07	2110	808	311	1460	491	0.685	23.4	0.759	9820	146	128
292x419x113	13.1	6.27	2280	776	387	1380	606	0.640	17.5	0.742	11500	257	144
292x419x97	13.1	6.06	1930	689	310	1240	487	0.660	20.8	0.747	7830	153	123
292x419x88	13.2	5.90	1720	644	267	1160	421	0.675	23.2	0.751	6320	111	112
267x381x99	11.8	5.71	1770	613	305	1090	479	0.641	16.6	0.741	7620	202	125
267x381x87	11.9	5.58	1550	550	257	986	404	0.654	19.0	0.745	5450	134	110
267x381x74	11.9	5.40	1300	481	206	867	324	0.670	22.6	0.749	3600	79.5	93.6
267x381x67	11.9	5.30	1180	445	181	806	285	0.679	24.9	0.753	2850	59.2	85.3
254x343x85	10.5	5.53	1390	464	259	826	406	0.624	15.9	0.731	4720	154	108
254x343x76	10.5	5.46	1250	417	227	743	355	0.627	17.7	0.732	3420	110	97.0
254x343x70	10.5	5.39	1150	388	204	691	319	0.633	19.3	0.734	2720	84.3	89.2
254x343x63	10.6	5.24	1010	358	173	643	271	0.651	21.9	0.740	2090	57.9	79.7
305x305x119	9.03	7.23	1740	501	509	894	787	0.483	10.6	0.662	11300	391	152
305x305x90	8.91	7.07	1350	372	371	656	572	0.484	13.8	0.664	4710	170	114
305x305x75	8.83	7.00	1150	307	305	538	469	0.483	16.4	0.666	2690	99.8	95.0
229x305x70	9.32	5.03	1020	333	196	592	306	0.613	15.3	0.727	2560	108	89.1
229x305x63	9.31	4.97	915	299	172	531	268	0.617	17.1	0.728	1840	76.9	79.7
229x305x57	9.33	4.88	826	275	150	489	235	0.626	19.0	0.731	1400	55.5	72.0
229x305x51	9.40	4.76	732	255	128	456	200	0.644	21.6	0.736	1080	38.3	64.4
178x305x50 +	9.60	3.60	688	270	92.5	490	148	0.694	19.4	0.768	1230	47.3	63.9
178x305x46 +	9.64	3.50	621	255	80.3	468	129	0.710	21.5	0.774	1050	35.3	58.7
178x305x41 +	9.64	3.40	545	230	67.8	425	109	0.722	24.3	0.778	780	24.3	52.1
312x267x136 +	7.81	7.69	1690	469	644	857	993	0.247	7.96	0.613	17300	642	174
312x267x110 +	7.82	7.48	1400	389	491	696	757	0.332	9.93	0.617	8730	320	139
312x267x91 +	7.72	7.40	1190	317	403	562	619	0.324	11.7	0.618	4920	186	116
312x267x75 +	7.65	7.32	1010	260	330	458	505	0.326	14.0	0.619	2780	108	95.9

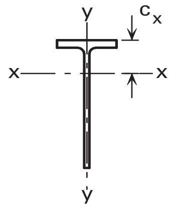
+ These sections are in addition to the range of BS 4 sections
(*) Note units are cm^6 and not dm^6.

BS 5950-1: 2000
BS 4-1: 2005

STRUCTURAL TEES CUT FROM UNIVERSAL BEAMS



Advance UKT split from Advance UKB



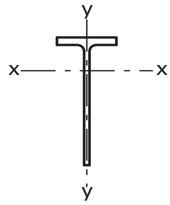
Dimensions and properties

Section Designation	Cut from Universal Beam	Mass per Metre	Width of Section	Depth of Section	Thickness		Root Radius	Ratios for Local Buckling		Dimension	Second Moment of Area	
					Web	Flange		Flange	Web		Axis x-x	Axis y-y
			B	d	t	T	r	b/T	d/t	c_x		
		kg/m	mm	mm	mm	mm	mm			cm	cm^4	cm^4
210x267x69 +	533x210x138	69.1	213.9	274.5	14.7	23.6	12.7	4.53	18.7	6.94	5990	1930
210x267x61	533x210x122	61.0	211.9	272.2	12.7	21.3	12.7	4.97	21.4	6.66	5160	1690
210x267x55	533x210x109	54.5	210.8	269.7	11.6	18.8	12.7	5.61	23.3	6.61	4600	1470
210x267x51	533x210x101	50.5	210.0	268.3	10.8	17.4	12.7	6.03	24.8	6.53	4250	1350
210x267x46	533x210x92	46.0	209.3	266.5	10.1	15.6	12.7	6.71	26.4	6.55	3880	1190
210x267x41	533x210x82	41.1	208.8	264.1	9.6	13.2	12.7	7.91	27.5	6.75	3530	1000
165x267x43 +	533x165x85	42.3	166.5	267.1	10.3	16.5	12.7	5.05	25.9	7.23	3750	637
165x267x37 +	533x165x75	37.3	165.9	264.5	9.7	13.6	12.7	6.10	27.3	7.46	3350	520
165x267x33 +	533x165x66	32.8	165.1	262.4	8.9	11.4	12.7	7.24	29.5	7.59	2960	429
191x229x81 +	457x191x161	80.7	199.4	246.0	18.0	32.0	10.2	3.12	13.7	6.22	5160	2130
191x229x67 +	457x191x133	66.6	196.7	240.3	15.3	26.3	10.2	3.74	15.7	5.96	4180	1670
191x229x53 +	457x191x106	52.9	194.0	234.6	12.6	20.6	10.2	4.71	18.6	5.73	3260	1260
191x229x49	457x191x98	49.1	192.8	233.5	11.4	19.6	10.2	4.92	20.5	5.53	2970	1170
191x229x45	457x191x89	44.6	191.9	231.6	10.5	17.7	10.2	5.42	22.1	5.47	2680	1040
191x229x41	457x191x82	41.0	191.3	229.9	9.9	16.0	10.2	5.98	23.2	5.47	2470	935
191x229x37	457x191x74	37.1	190.4	228.4	9.0	14.5	10.2	6.57	25.4	5.38	2220	836
191x229x34	457x191x67	33.5	189.9	226.6	8.5	12.7	10.2	7.48	26.7	5.46	2030	726
152x229x41	457x152x82	41.0	155.3	232.8	10.5	18.9	10.2	4.11	22.2	5.96	2600	592
152x229x37	457x152x74	37.1	154.4	230.9	9.6	17.0	10.2	4.54	24.1	5.88	2330	523
152x229x34	457x152x67	33.6	153.8	228.9	9.0	15.0	10.2	5.13	25.4	5.91	2120	456
152x229x30	457x152x60	29.9	152.9	227.2	8.1	13.3	10.2	5.75	28.0	5.84	1880	397
152x229x26	457x152x52	26.1	152.4	224.8	7.6	10.9	10.2	6.99	29.6	6.04	1670	322
178x203x43 +	406x178x85	42.6	181.9	208.6	10.9	18.2	10.2	5.00	19.1	4.91	2030	915
178x203x37	406x178x74	37.1	179.5	206.3	9.5	16.0	10.2	5.61	21.7	4.76	1740	773
178x203x34	406x178x67	33.5	178.8	204.6	8.8	14.3	10.2	6.25	23.3	4.73	1570	682
178x203x30	406x178x60	30.0	177.9	203.1	7.9	12.8	10.2	6.95	25.7	4.64	1400	602
178x203x27	406x178x54	27.0	177.7	201.2	7.7	10.9	10.2	8.15	26.1	4.83	1290	511
140x203x27 +	406x140x53	26.6	143.3	203.3	7.9	12.9	10.2	5.55	25.7	5.16	1320	317
140x203x23	406x140x46	23.0	142.2	201.5	6.8	11.2	10.2	6.35	29.6	5.02	1120	269
140x203x20	406x140x39	19.5	141.8	198.9	6.4	8.6	10.2	8.24	31.1	5.32	979	205

+ These sections are in addition to the range of BS 4 sections

STRUCTURAL TEES CUT FROM UNIVERSAL BEAMS

Advance UKT split from Advance UKB



Properties (continued)

Section Designation	Radius of Gyration		Elastic Modulus			Plastic Modulus		Buckling Parameter	Torsional Index	Mono-symmetry Index	Warping Constant (*)	Torsional Constant	Area of Section
	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x		Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y						
			Flange	Toe				u	x	ψ	H	J	A
	cm	cm	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3				cm^6	cm^4	cm^2
210x267x69 +	8.24	4.68	862	292	181	520	284	0.609	12.5	0.719	2490	125	88.1
210x267x61	8.15	4.67	775	251	160	446	250	0.600	13.8	0.719	1660	88.9	77.7
210x267x55	8.14	4.60	697	226	140	401	218	0.605	15.5	0.721	1200	63.0	69.4
210x267x51	8.12	4.57	650	209	128	371	200	0.606	16.6	0.722	951	50.3	64.3
210x267x46	8.14	4.51	593	193	114	343	178	0.613	18.3	0.724	737	37.7	58.7
210x267x41	8.21	4.38	523	179	96.1	320	150	0.634	20.8	0.730	565	25.7	52.3
165x267x43 +	8.34	3.44	519	192	76.6	346	122	0.672	17.7	0.758	670	36.8	54.0
165x267x37 +	8.39	3.30	449	176	62.7	321	100	0.693	20.6	0.765	514	23.9	47.6
165x267x33 +	8.41	3.20	390	159	52.0	291	83.1	0.708	23.6	0.771	378	15.9	41.9
191x229x81 +	7.09	4.55	830	281	213	507	336	0.573	8.24	0.699	3780	256	103
191x229x67 +	7.01	4.44	702	231	170	414	267	0.576	9.82	0.702	2130	146	84.9
191x229x53 +	6.96	4.32	569	184	130	328	203	0.583	12.2	0.706	1070	72.6	67.4
191x229x49	6.88	4.33	536	167	122	296	189	0.573	12.9	0.705	835	60.5	62.6
191x229x45	6.87	4.29	491	152	109	269	169	0.576	14.1	0.706	628	45.2	56.9
191x229x41	6.88	4.23	452	141	97.8	250	152	0.583	15.5	0.709	494	34.5	52.2
191x229x37	6.86	4.20	413	127	87.8	225	136	0.583	16.9	0.709	365	25.8	47.3
191x229x34	6.90	4.12	372	118	76.5	209	119	0.597	18.9	0.713	280	18.5	42.7
152x229x41	7.05	3.37	436	150	76.3	267	120	0.634	13.7	0.740	534	44.5	52.3
152x229x37	7.03	3.33	397	135	67.8	242	107	0.636	15.1	0.742	396	32.9	47.2
152x229x34	7.04	3.27	359	125	59.3	223	93.3	0.646	16.8	0.745	305	23.8	42.8
152x229x30	7.02	3.23	322	111	52.0	199	81.5	0.648	18.8	0.746	217	16.9	38.1
152x229x26	7.08	3.11	276	102	42.3	183	66.6	0.671	22.0	0.753	161	10.7	33.3
178x203x43 +	6.11	4.11	413	127	101	226	157	0.556	12.2	0.694	538	46.3	54.3
178x203x37	6.06	4.04	365	109	86.1	194	133	0.555	13.8	0.696	350	31.3	47.2
178x203x34	6.07	3.99	332	100	76.3	177	118	0.561	15.2	0.698	262	23.0	42.8
178x203x30	6.04	3.97	301	89.0	67.6	157	104	0.561	16.9	0.699	186	16.6	38.3
178x203x27	6.13	3.85	268	84.6	57.5	150	89.1	0.588	19.2	0.705	146	11.5	34.5
140x203x27 +	6.23	3.06	256	87.0	44.3	155	69.5	0.636	17.1	0.739	148	14.4	34.0
140x203x23	6.19	3.03	224	74.2	37.8	132	59.0	0.633	19.5	0.740	93.7	9.49	29.3
140x203x20	6.28	2.87	184	67.2	28.9	121	45.4	0.668	23.8	0.750	66.3	5.33	24.8

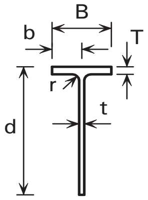
+ These sections are in addition to the range of BS 4 sections

(*) Note units are cm^6 and not dm^6.

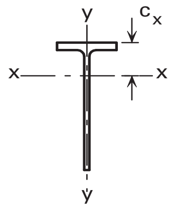
– Indicates that no values of u and x are given, as lateral torsional buckling due to bending about the x-x axis is not possible, because the second moment of area about the y-y axis exceeds the second moment of area about the x-x axis.

BS 5950-1: 2000
BS 4-1: 2005

STRUCTURAL TEES CUT FROM UNIVERSAL BEAMS



Advance UKT split from Advance UKB

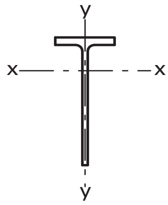


Dimensions and properties

Section Designation	Cut from Universal Beam	Mass per Metre	Width of Section	Depth of Section	Thickness		Root Radius	Ratios for Local Buckling		Dimension	Second Moment of Area	
					Web	Flange		Flange	Web		Axis x-x	Axis y-y
			B	d	t	T	r	b/T	d/t	c_x		
		kg/m	mm	mm	mm	mm	mm			cm	cm^4	cm^4
171x178x34	356x171x67	33.5	173.2	181.6	9.1	15.7	10.2	5.52	20.0	4.00	1150	681
171x178x29	356x171x57	28.5	172.2	178.9	8.1	13.0	10.2	6.62	22.1	3.97	986	554
171x178x26	356x171x51	25.5	171.5	177.4	7.4	11.5	10.2	7.46	24.0	3.94	882	484
171x178x23	356x171x45	22.5	171.1	175.6	7.0	9.7	10.2	8.82	25.1	4.05	798	406
127x178x20	356x127x39	19.5	126.0	176.6	6.6	10.7	10.2	5.89	26.8	4.43	728	179
127x178x17	356x127x33	16.5	125.4	174.4	6.0	8.5	10.2	7.38	29.1	4.56	626	140
165x152x27	305x165x54	27.0	166.9	155.1	7.9	13.7	8.9	6.09	19.6	3.21	642	531
165x152x23	305x165x46	23.0	165.7	153.2	6.7	11.8	8.9	7.02	22.9	3.07	536	448
165x152x20	305x165x40	20.1	165.0	151.6	6.0	10.2	8.9	8.09	25.3	3.03	468	382
127x152x24	305x127x48	24.0	125.3	155.4	9.0	14.0	8.9	4.48	17.3	3.94	662	231
127x152x21	305x127x42	20.9	124.3	153.5	8.0	12.1	8.9	5.14	19.2	3.87	573	194
127x152x19	305x127x37	18.5	123.4	152.1	7.1	10.7	8.9	5.77	21.4	3.78	501	168
102x152x17	305x102x33	16.4	102.4	156.3	6.6	10.8	7.6	4.74	23.7	4.14	487	97.1
102x152x14	305x102x28	14.1	101.8	154.3	6.0	8.8	7.6	5.78	25.7	4.20	420	77.7
102x152x13	305x102x25	12.4	101.6	152.5	5.8	7.0	7.6	7.26	26.3	4.43	377	61.5
146x127x22	254x146x43	21.5	147.3	129.7	7.2	12.7	7.6	5.80	18.0	2.64	343	339
146x127x19	254x146x37	18.5	146.4	127.9	6.3	10.9	7.6	6.72	20.3	2.55	292	285
146x127x16	254x146x31	15.5	146.1	125.6	6.0	8.6	7.6	8.49	20.9	2.66	259	224
102x127x14	254x102x28	14.1	102.2	130.1	6.3	10.0	7.6	5.11	20.7	3.24	277	89.3
102x127x13	254x102x25	12.6	101.9	128.5	6.0	8.4	7.6	6.07	21.4	3.32	250	74.3
102x127x11	254x102x22	11.0	101.6	126.9	5.7	6.8	7.6	7.47	22.3	3.45	223	59.7
133x102x15	203x133x30	15.0	133.9	103.3	6.4	9.6	7.6	6.97	16.1	2.11	154	192
133x102x13	203x133x25	12.5	133.2	101.5	5.7	7.8	7.6	8.54	17.8	2.10	131	154

STRUCTURAL TEES CUT FROM UNIVERSAL BEAMS

Advance UKT split from Advance UKB



Properties (continued)

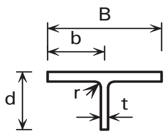
Section Designation	Radius of Gyration		Elastic Modulus			Plastic Modulus		Buckling Parameter	Torsional Index	Mono-symmetry Index	Warping Constant (*)	Torsional Constant	Area of Section
	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x		Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y						
			Flange	Toe				u	x	ψ	H	J	A
	cm	cm	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3				cm^6	cm^4	cm^2
171x178x34	5.20	3.99	288	81.5	78.6	145	121	0.500	12.2	0.672	249	27.8	42.7
171x178x29	5.21	3.91	248	70.9	64.4	125	99.4	0.514	14.4	0.676	154	16.6	36.3
171x178x26	5.21	3.86	224	63.9	56.5	113	87.1	0.521	16.1	0.677	110	11.9	32.4
171x178x23	5.28	3.76	197	59.1	47.4	104	73.3	0.546	18.4	0.683	79.2	7.90	28.7
127x178x20	5.41	2.68	164	55.0	28.4	98.0	44.5	0.632	17.6	0.739	57.1	7.53	24.9
127x178x17	5.45	2.58	137	48.6	22.3	87.2	35.1	0.655	21.1	0.746	38.0	4.38	21.1
165x152x27	4.32	3.93	200	52.2	63.7	92.8	97.8	0.389	11.8	0.636	128	17.3	34.4
165x152x23	4.27	3.91	174	43.7	54.1	77.1	82.8	0.380	13.6	0.636	78.6	11.1	29.4
165x152x20	4.27	3.86	155	38.6	46.3	67.6	70.9	0.393	15.5	0.638	52.0	7.35	25.7
127x152x24	4.65	2.74	168	57.1	36.8	102	58.0	0.602	11.7	0.714	104	15.8	30.6
127x152x21	4.63	2.70	148	49.9	31.3	88.9	49.2	0.606	13.3	0.716	69.2	10.5	26.7
127x152x19	4.61	2.67	132	43.8	27.2	77.9	42.7	0.606	14.9	0.718	47.4	7.36	23.6
102x152x17	4.82	2.15	118	42.3	19.0	75.8	30.0	0.656	15.8	0.749	36.8	6.08	20.9
102x152x14	4.84	2.08	100.0	37.4	15.3	67.5	24.2	0.673	18.7	0.756	25.2	3.69	17.9
102x152x13	4.88	1.97	85.0	34.8	12.1	63.9	19.4	0.705	21.8	0.766	20.4	2.37	15.8
146x127x22	3.54	3.52	130	33.2	46.0	59.5	70.5	0.202	10.6	0.613	64.9	11.9	27.4
146x127x19	3.52	3.48	115	28.5	39.0	50.7	59.7	0.233	12.2	0.616	41.0	7.65	23.6
146x127x16	3.61	3.36	97.4	26.2	30.6	46.0	47.1	0.376	14.8	0.623	24.5	4.26	19.8
102x127x14	3.92	2.22	85.5	28.3	17.5	50.4	27.4	0.607	13.8	0.720	21.0	4.77	18.0
102x127x13	3.95	2.15	75.3	26.2	14.6	46.9	23.0	0.628	15.8	0.727	15.9	3.20	16.0
102x127x11	3.99	2.06	64.5	24.1	11.7	43.5	18.6	0.656	18.2	0.736	12.0	2.06	14.0
133x102x15	2.84	3.17	73.1	18.8	28.7	33.5	44.1	-	10.7	0.569	21.7	5.13	19.1
133x102x13	2.86	3.10	62.4	16.2	23.1	28.7	35.5	-	12.8	0.572	12.6	2.97	16.0

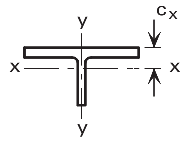
(*) Note units are cm^6 and not dm^6.

– Indicates that no values of u andxare given, as lateral torsional buckling due to bending about the x-x axis is not possible, because the second moment of area about the y-y axis exceeds the second moment of area about the x-x axis.

STRUCTURAL TEES CUT FROM UNIVERSAL COLUMNS

Advance UKT split from Advance UKC





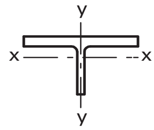
Dimensions

Section Designation	Cut from Universal Column	Mass per Metre	Width of Section	Depth of Section	Thickness		Root Radius	Ratios for Local Buckling		Dimension
					Web	Flange		Flange	Web	
			B	d	t	T	r	b/T	d/t	c_x
		kg/m	mm	mm	mm	mm	mm			cm
406x178x118	356x406x235	117.5	394.8	190.4	18.4	30.2	15.2	6.54	10.3	3.40
368x178x101	356x368x202	100.9	374.7	187.2	16.5	27.0	15.2	6.94	11.3	3.29
368x178x89	356x368x177	88.5	372.6	184.0	14.4	23.8	15.2	7.83	12.8	3.09
368x178x77	356x368x153	76.5	370.5	180.9	12.3	20.7	15.2	8.95	14.7	2.88
368x178x65	356x368x129	64.5	368.6	177.7	10.4	17.5	15.2	10.5	17.1	2.69
305x152x79	305x305x158	79.0	311.2	163.5	15.8	25.0	15.2	6.22	10.3	3.04
305x152x69	305x305x137	68.4	309.2	160.2	13.8	21.7	15.2	7.12	11.6	2.86
305x152x59	305x305x118	58.9	307.4	157.2	12.0	18.7	15.2	8.22	13.1	2.69
305x152x49	305x305x97	48.4	305.3	153.9	9.9	15.4	15.2	9.91	15.5	2.50
254x127x84	254x254x167	83.5	265.2	144.5	19.2	31.7	12.7	4.18	7.53	3.07
254x127x66	254x254x132	66.0	261.3	138.1	15.3	25.3	12.7	5.16	9.03	2.70
254x127x54	254x254x107	53.5	258.8	133.3	12.8	20.5	12.7	6.31	10.4	2.45
254x127x45	254x254x89	44.4	256.3	130.1	10.3	17.3	12.7	7.41	12.6	2.21
254x127x37	254x254x73	36.5	254.6	127.0	8.6	14.2	12.7	8.96	14.8	2.05
203x102x64 +	203x203x127	63.7	213.9	120.7	18.1	30.1	10.2	3.55	6.67	2.73
203x102x57 +	203x203x113	56.7	212.1	117.5	16.3	26.9	10.2	3.94	7.21	2.56
203x102x50 +	203x203x100	49.8	210.3	114.3	14.5	23.7	10.2	4.44	7.88	2.38
203x102x43	203x203x86	43.0	209.1	111.0	12.7	20.5	10.2	5.10	8.74	2.20
203x102x36	203x203x71	35.5	206.4	107.8	10.0	17.3	10.2	5.97	10.8	1.95
203x102x30	203x203x60	30.0	205.8	104.7	9.4	14.2	10.2	7.25	11.1	1.89
203x102x26	203x203x52	26.0	204.3	103.0	7.9	12.5	10.2	8.17	13.0	1.75
203x102x23	203x203x46	23.0	203.6	101.5	7.2	11.0	10.2	9.25	14.1	1.69
152x76x26 +	152x152x51	25.6	157.4	85.1	11.0	15.7	7.6	5.01	7.74	1.79
152x76x22 +	152x152x44	22.0	155.9	83.0	9.5	13.6	7.6	5.73	8.74	1.66
152x76x19	152x152x37	18.5	154.4	80.8	8.0	11.5	7.6	6.71	10.1	1.53
152x76x15	152x152x30	15.0	152.9	78.7	6.5	9.4	7.6	8.13	12.1	1.41
152x76x12	152x152x23	11.5	152.2	76.1	5.8	6.8	7.6	11.2	13.1	1.39

+ These sections are in addition to the range of BS 4 sections

STRUCTURAL TEES CUT FROM UNIVERSAL COLUMNS

Advance UKT split from Advance UKC



Properties

Section Designation	Second Moment of Area		Radius of Gyration		Elastic Modulus			Plastic Modulus		Mono-symmetry Index	Warping Constant (*)	Torsional Constant	Area of Section
	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x Flange	Axis x-x Toe	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	ψ	H	J	A
	cm^4	cm^4	cm	cm	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3		cm^6	cm^4	cm^2
406x178x118	2860	15500	4.37	10.2	843	183	785	367	1190	0.165	12700	405	150
368x178x101	2460	11800	4.38	9.60	749	160	632	312	960	0.216	7840	278	129
368x178x89	2090	10300	4.30	9.54	676	136	551	263	835	0.212	5270	190	113
368x178x77	1730	8780	4.22	9.49	601	114	474	216	717	0.209	3390	125	97.4
368x178x65	1420	7310	4.16	9.43	527	94.1	396	175	600	0.207	2010	76.2	82.2
305x152x79	1530	6280	3.90	7.90	503	115	404	225	615	0.268	3650	188	101
305x152x69	1290	5350	3.84	7.83	450	97.7	346	188	526	0.263	2340	124	87.2
305x152x59	1080	4530	3.79	7.77	401	82.8	295	156	448	0.262	1470	80.3	75.1
305x152x49	858	3650	3.73	7.69	343	66.5	239	123	363	0.258	806	45.5	61.7
254x127x84	1200	4930	3.36	6.81	391	105	372	220	569	0.261	4540	312	106
254x127x66	871	3770	3.22	6.69	323	78.3	288	159	439	0.250	2200	159	84.1
254x127x54	676	2960	3.15	6.59	276	62.1	229	122	348	0.245	1150	85.9	68.2
254x127x45	524	2430	3.04	6.55	237	48.5	190	94.0	288	0.242	660	51.1	56.7
254x127x37	417	1950	2.99	6.48	204	39.2	153	74.0	233	0.236	359	28.8	46.5
203x102x64 +	637	2460	2.80	5.50	233	68.2	230	145	352	0.279	2050	212	81.2
203x102x57 +	540	2140	2.73	5.45	211	58.8	202	123	309	0.270	1430	152	72.3
203x102x50 +	453	1840	2.67	5.39	190	50.0	175	103	267	0.266	951	104	63.4
203x102x43	373	1560	2.61	5.34	169	41.9	150	84.6	228	0.257	605	68.1	54.8
203x102x36	280	1270	2.49	5.30	143	31.8	123	63.6	187	0.254	343	40.0	45.2
203x102x30	244	1030	2.53	5.20	129	28.4	100	54.3	153	0.245	195	23.5	38.2
203x102x26	200	889	2.46	5.18	115	23.4	87.0	44.5	132	0.243	128	15.8	33.1
203x102x23	177	774	2.45	5.13	105	20.9	76.0	39.0	115	0.242	87.2	11.0	29.4
152x76x26 +	141	511	2.08	3.96	79.0	21.0	64.9	41.4	99.5	0.281	122	24.3	32.6
152x76x22 +	116	430	2.04	3.92	70.0	17.5	55.2	34.0	84.4	0.281	76.7	15.8	28.0
152x76x19	93.1	353	1.99	3.87	60.7	14.2	45.7	27.1	69.8	0.277	44.9	9.54	23.5
152x76x15	72.2	280	1.94	3.83	51.4	11.2	36.7	20.9	55.8	0.269	23.7	5.24	19.1
152x76x12	58.5	200	2.00	3.70	41.9	9.41	26.3	16.9	40.1	0.278	9.78	2.30	14.6

+ These sections are in addition to the range of BS 4 sections

(*) Note units are cm^6 and not dm^6.

Values of u andxare not given, as lateral torsional buckling due to bending about thex-x axis is not possible, because the second moment of area about the y-y axis exceeds the second moment of area about thex-x axis.

المراجـع

- British Standard Code of Practive : CP3 : Chapter V: Part 2 1972.
- BS 5950 : PART 1 : Code of Practice for Design –Rolled and Welded Sections, 2001.
- Design of Structural Steelwork ; by W.M.C. Mckenzie, pub. MACMILLAN Press Ltd, 1998.
- HandBook of Structural SteelWork-Red Book, 4th edition,The British Constructional Steelwork Association Ltd and The Steel Construction Institute, 2007.
- Joints in Simple and Construction; Volume 1+2, Published by: British Constructional Steelwork Association, 1994.
- Lateral Stability of Steel Beams and Columns; by: D.A. Nethercot & R.M. Lawson; Published by: the Steel Construction Institute,1992.
- Plastic Design of Low – Rise Frames ; by M.R. Horne & L.J. Morris ; pub. Collin, 1985.
- Plastic Theory of Structures ; by M.R. Horne , pub. Pergamon Press, 1979.
- Steel Designers'Manual; edited by: G.W. Owens & Buick Davison; 6th edition, Published by: Blackwell Science, 2003.
- Steelwork Design ; Guid to BS 5950 : part 1, Volume 1+2; Published by : the Steel Construction Institute,7th edition ,2007.
- Structural Steelwork Design to BS 5950; by : L.J. Morris &D.R. Plum; Published by: Longman Scientific & Technical, 2nd edition, 1996.

- Structural Steelwork ; Design to Limit State Theory ; by Dennis Lam, Thien-Cheong Ang and Sing-Ping Chiew; pub. Butterworth – Heinmann, Third edition, 2004.
- The Behaviour and Design of Steel Structures to BS 5950, by: N.S. Trahair & M.A. Bradford & D.A. Nethercot; Published by: Spon Press, 2001.

الفهرس

الفصل الأول: مفهوم التصميم وفق الحالة الحدية

الفصل الثاني: خواص المواد وخصائص المقاطع

الفصل الثالث: تصميم العناصر المشدودة

الفصل الرابع: تصميم العناصر المضغوطة

الفصل الخامس: تصميم العناصر المنعطفة

الفصل السادس: الجوائز الصفائحية

الفصل السابع: تصميم العناصر المضغوطة الخاصة

الفصل الثامن: العناصر المعرضة للضغط والانعطاف

الفصل التاسع: الجائز الحامل للرافعة

الفصل العاشر: تصميــم الوصــلات

الفصل السادس عشر : قواعد الأعمدة

الفصل السابع عشر: تصميم الإطار البابي